Background Paper BP-292E

PULP AND PAPER: THE REDUCTION OF TOXIC EFFLUENTS

William Murray
Science and Technology Division

April 1992

Library of Parliament
Bibliothèque du Parlement

Research Branch

93-01875/

The Research Branch of the Library of Parliament works exclusively for Parliament, conducting research and providing information for Committees and Members of the Senate and the House of Commons. This service is extended without partisan bias in such forms as Reports, Background Papers and Issue Reviews. Research Officers in the Branch are also available for personal consultation in their respective fields of expertise.

©Minister of Supply and Services Canada 1992
Available in Canada through
your local bookseller
or by mail from
Canada Communication Group -- Publishing
Ottawa, Canada K1A OS9

Catalogue No. YM32-2/292E
ISBN 0-660-14583-9

CE DOCUMENT EST AUSSI PUBLIÉ EN FRANÇAIS

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

TABLE OF CONTENTS

Page

INTRODUCTION 1

HISTORY OF PAPER MAKING 2

THE PULP AND PAPER INDUSTRY AS A POLLUTION SOURCE 3

A. The Structure of Woody Materials 4

B. Pulping Processes 5

C. Dioxins and Furans 9

IDENTIFICATION OF COMPOUNDS HAZARDOUS TO HUMAN HEALTH 10

DISCHARGE REGULATIONS 15

POLLUTION ABATEMENT BY THE PULP AND PAPER INDUSTRY 17

A. In-Plant Process Changes 17

B. End-of-Pipe Biological Treatment Processes 18

C. Pollution Abatement - A Case Study 19

CONCLUDING REMARKS 20

SELECTED REFERENCES 21

RECYCLED RECYCLE

CANADA

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

PULP AND PAPER: THE REDUCTION OF TOXIC EFFLUENTS

INTRODUCTION

The manufacture of pulp and paper is a resource-intensive industry that consumes large amounts of energy, water, and trees. It is a mature industry that is innovative and adapts rapidly to technological change in order to remain competitive in the international market. The emergence of this technology as a major industry in Northern Europe and North America took place during the latter half of the nineteenth century, a time when there was little thought given to the possible detrimental effects of industrial pollution on the environment or human health. In the United States, pulp and paper mills are now considered the nation's third largest polluter.(1) In Canada, it has been estimated that this industry is responsible for 50% of all the waste dumped into the nation's waters(2) and also accounts for approximately 5.6% of the common air contaminants from known industrial sources.(3)

Pollution from the pulp and paper industry is both a tradition in Canada, and a consequence of international economic reality. The technologies exist for substantially reducing emissions, particularly those that are a risk to human health. However, pulp and paper mills represent capital expenditures in the high hundreds of millions of dollars, and retrofitting a mill with new process technologies for pollution

---

(1) A.M. Springer, *Industrial Environmental Control: Pulp and Paper Industry*, John Wiley and Sons, N.Y., 1986, p. 3.

(2) William F. Sinclair, *Controlling Pollution from Canadian Pulp and Paper Manufacturers: A Federal Perspective*, Environment Canada, Ottawa, 1990, 360 p.

(3) Environment Canada, *Emissions and Trends of Common Air Contaminants in Canada: 1970-1980*, Report EPS 7/AP/17, Environment Canada, Ottawa, 1986, 104 p.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

abatement regularly costs additional hundreds of millions of dollars. Such huge expenditures put pulp and paper companies at a disadvantage with competitors in countries without stringent effluent controls. The implementation of environmental protection will have to proceed in a manner that sustains the economic health of the pulp and paper industry, yet ensures human health and environmental quality.

To tackle this problem in a cost-effective manner it is necessary to understand the nature of the problem, and identify the specific compounds that endanger human health and environmental quality. It is then possible to choose and install new process technologies to prevent the production of toxic effluents. Alternatively, depending upon economic circumstances and the age of the mill, it may be more cost effective to add an end-of-pipe waste water treatment system. There is a large degree of variation in the pulping and bleach plant technologies used in mills. Accordingly, the solution for one mill cannot be applied to the environmental problems of the whole industry.

HISTORY OF PAPER MAKING

Egyptian papyrus and Chinese silk cloths were the first writing materials. The first true paper, prepared from fibrous cellulose-containing plant material, was manufactured in China in the year 105 A.D. At this time, Chinese clothing was made largely from China grass *(Boehmeria nivea)*, a common fibrous plant. Worn-out clothing was collected by rag merchants and sold to paper makers, who recycled the cellulose content into paper.(4)

The technology of paper-making slowly crossed the Arab world, and by the year 1150 made its way to Europe through Moorish Spain. From 1150 to the middle of the 19th century the feedstock for paper making remained recycled cellulosic materials, such as rags, rope, fish nets, and burlap. European clothes were made primarily of either linen or wool.

---

(4) George Carruthers, *Paper in the Making*, Garden City Press Coop., Toronto, 1947, 712 p.

RECYCLED RECYCLE

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Flax, from which linen is made, was therefore the dominant source of European paper for centuries.(5) The flax plant *(Linum usitatissimum)* grows to 1.2 metres in height, and produces woody fibres, which are much longer than real wood fibres and unlike them are easily separated, very strong, and supple-soft. These qualities are valued for the production of specialty papers that are soft, yet very strong. Today, most of the world's bank notes are printed upon a high-value flax paper produced in Canada.

The first paper mill in Lower Canada was established in 1803, in the village of St. Andrews, near present-day Lachute, P.Q. By 1820, a number of mills had begun operation across Upper and Lower Canada. Until Confederation, these mills were generally small, and depended upon linen and cotton rags and recycled rope, jute cloth, flax wastes and straw, for their raw feedstock. In Georgetown, Ontario, the Barber paper mill installed straw boilers in 1861, and made paper from straw from local farms. At this time, all the cellulosic substrates used in paper-making were either already well processed or raw materials from which cellulose fibres could be extracted easily. Wood was not used as a substrate, as the technology and equipment had not been developed to chisel and grind wood down inexpensively into a size that could be used in the established paper-making process.

In about 1850, John Taylor of the Don Valley Paper Mill, Toronto, was the first to develop and later patent a Canadian process for making wood pulp. The use of wood as a cellulosic feedstock was the first major technological break-through in paper-making in 1,700 years. This advancement dramatically transformed the industry. Today in Canada, 144 large pulp and paper mills consume vast quantities of wood, and produce both raw pulp and finished papers for the world market.

THE PULP AND PAPER INDUSTRY AS A POLLUTION SOURCE

To appreciate the sources of pollutants from this industry it is necessary to review the composition of the primary substrate, wood,

---

(5) *Ibid.*

RECYCLED RECYCLE

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

and the chemical and mechanical processing that it undergoes to produce the quality pulps needed for paper-making.

A. The Structure of Woody Materials(6)

The three main component groups of wood are cellulose, hemicellulose, and lignin. Although the concentration of these three components can vary from species to species, the proportions are roughly 50% cellulose, 25% hemicellulose and 25% lignin. Cellulose is a very long linear molecule composed of repeating glucose units. Bundles of cellulose molecules form microfibrils, which build up to fibrils, and finally to cellulose fibres. Hydrogen bonding takes place between linear molecules to result in a strong microcrystalline structure. Cellulose, being nothing more than glucose in a tightly bound molecular structure, is quite susceptible to degradation by microorganisms. In spite of this, cellulose is generally not easily attacked by bacteria and moulds, because of the protective hemicellulose and lignin covering that enwraps the cellulose fibres.

Hemicellulose is composed of a random arrangement of five-carbon sugars. These long-branching molecules surround the cellulose fibres, and intrude into pores in the cellulose. Hemicellulose forms chemical bonds with the next layer, lignin, and essentially acts as a chemical bonding agent between cellulose and lignin.

Lignin is a complex phenylpropanoid polymer that surrounds and gives strength to the cellulose-hemicellulose framework. Lignin is composed of three phenol-based building blocks that polymerize in a completely random fashion. This random structure is very difficult to degrade. When slow degradation does take place, phenolic compounds, which are generally toxic, are released. As a result only a limited number of microorganisms derive benefit from the biological breakdown of lignin. The aromatic content of lignin, expressed as monomeric phenol, is approximately 51%. It is the phenolic compounds released from lignin during the chlorine

---

(6) K.P. Kringstad and K. Lindstrom, "Spent Liquors from Pulp Bleaching," *Environmental Science and Technology*, Vol. 18, 1984, p. 236A-247A.

RECYCLED RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

bleaching of pulp that are responsible for a large percentage of the toxic compounds released in pulp mill effluents.

In addition, wood contains 1.5 - 5% extractives, a general designation for wood components that may be extracted by organic solvents. These include resin acids, fats, waxes, terpenoid compounds, tannins, flavonoids, stilbenes, and tropolines. While extractives are generally present in mill wastes at much lower concentrations than phenolic materials, some of these compounds are relatively toxic, and can significantly reduce water quality and marine habitat in the lakes and rivers that receive mill effluents.

B. Pulping Processes

The purpose of pulping is to free the cellulose fibres from the other wood components in as pure and undamaged a condition as possible. There are many pulping procedures; these evolve and change as economic and market circumstances dictate. The first widely used pulping method was the stone-groundwood process; this had the advantages of high yield and little waste, but resulted in damaged fibres that lacked strength. This process decreased in popularity when chemical pulping, which produced longer, stronger fibres, was developed.(7)

During the early half of the twentieth century, sulphite pulping predominated in Canada, until it was replaced by Kraft pulping. Today Kraft mills account for a very large share of total pulp production. For example, in 1984 46.5% of all Canadian pulp was produced by the Kraft process.(8) Besides the production of high quality fibre, the other major advantage is the spent-liquor system, which recovers tall oil (fatty and resin acids), turpentine, bioenergy, and recycles inorganic chemicals.(9)

The Kraft process is now being challenged by chemithermo-mechanical pulping (CTMP). In the CTMP process, chemistry, temperature, and mechanical parameters can be varied to optimize the release of

---

(7) Sinclair (1990).

(8) *Ibid.*

(9) Kringstad and Lindstrom (1984), p. 236A-247A.

CYCLED RECYCLE

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

cellulose from specific wood species. The economic advantages of CTMP are many: strength, brightness and versatility of the pulp produced; lower energy requirements; less need for processing; reduced water usage; the wide range of wood species that can be used; and, most important, the extremely high yield of pulp (90-92% of available cellulose fibre versus 40 -42% for Kraft pulping).

Unfortunately, the new developments that make the pulp and paper industry more competitive are not necessarily designed to reduce pollution. The basic CTMP process, unlike Kraft pulping, does not incorporate a recycling-recovery step. With CTMP, the reduced water flow, combined with higher fibre recovery that releases large amounts of lignin and extractives, greatly increases the potential for release of concentrated toxic effluents.(10) This problem is exacerbated if the organic waste stream receives chlorine-bleaching effluents. CTMP plants could have been devastating to the Canadian environment had they been built 20 years ago. Stringent pollution regulations are now in force, however, and, as new CTMP mills are built, they incorporate the necessary pollution control devices to ensure that mill effluents pass toxicity monitoring. In fact, the new goal of the pulp and paper industry is the development of "zero-emission" or "closed-loop" CTMP mills, where all wastes are recovered and process water is recycled.

There are very few sulphite pulp mills still operating in Canada, and the newly built CTMP mills generally meet pollution effluent standards. This leaves Kraft pulping as the primary source of toxic pulp mill effluents. Figure 1 and the following brief overview of the operation of a conventional Kraft pulp mill and bleach plant describe pollution sources.

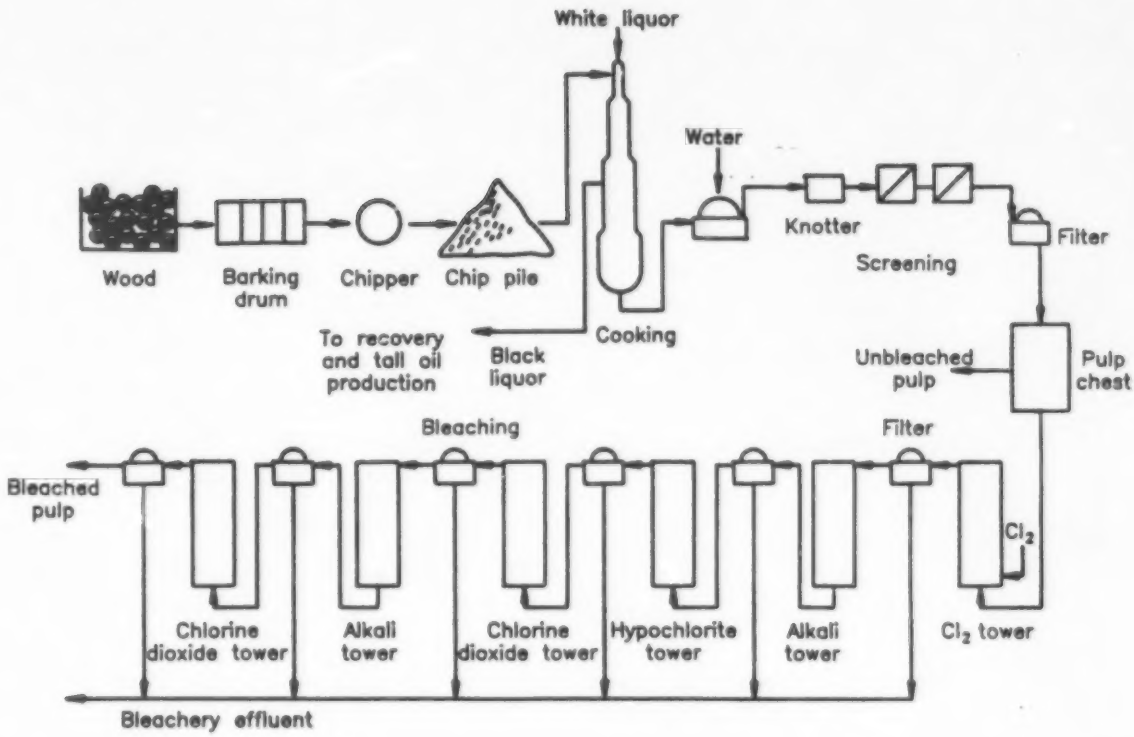
---

(10) Sinclair (1990).

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHEQUE DU PARLEMENT

Figure 1. General Flow Diagram for a Kraft Pulp Mill and Bleach Plant.



Source: Kringstad and Lindstrom (1984).

Logs are debarked and then put through a chipper. The pulping process begins by treating wood chips at 160 - 180°C in a "white liquor" solution of sodium sulphide and sodium hydroxide. This treatment cleaves lignin ether bonds; and dissolves 90 to 95% of the lignin, essentially all hemicellulose, and wood extractives, and a small amount of cellulose-derived polysaccharides. Approximately 55% of the original wood is dissolved in what is now termed the "black liquor." By-products are recovered, and the liquor evaporated to high concentration and then burned for recovery of energy and inorganic chemicals.(11)

---

(11) Kringstad and Lindstrom (1984), p. 236A-247A.

CYCLED / RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

The evaporated phase, which may contain inorganic sulphur in the form of sulphate, sulphite, or dithionite, is trapped in a condenser producing a concentrated sulphur waste water stream termed evaporator condensate. Highly volatile fugitive emissions from the condenser, and volatile compounds and gases from the burnt concentrated black liquor are released to the atmosphere. Air contaminants released from pulping include particulate matter, sulphur dioxide, and total reduced sulphur (TRS) compounds. The TRS compounds consist primarily of hydrogen sulphide, methyl mercaptan, dimethyl sulphide, and dimethyl disulphide. It is these compounds that contribute to the characteristic foul odours associated with pulp mills. The very low odour threshold of these pollutants means that disagreeable odours can be discerned by smell at concentrations that are seldom hazardous to human health. Accordingly, the main effect of pulp mill airborne emissions is the reduction of aesthetic air quality, although, the blackening by hydrogen sulphide of homes and buildings in proximity to pulp mills is not uncommon.(12)

The pulping process is terminated when the pulp still contains 5 - 10% lignin, as further delignification would harm fibre quality. In the bleach plant the pulp is made into a 3% slurry and treated with a chlorine charge of 60 - 70 kg/t, at pH 1.5 - 2.0. This is followed by filtration and then an alkali treatment (35 - 40 kg/t), pH 11, at 55 - 70°C. Subsequent bleaching treatments may vary, but usually proceed through a series of hypochlorite, chlorine dioxide, alkali, and chlorine dioxide processing steps. After each treatment stage the pulp is filtered and the process liquids combined as bleachery effluent.(13)

During bleach plant treatment, approximately 1 kg of extractives, 19 kg of polysaccharides, and 50 kg of lignin are dissolved from 1 tonne of softwood pulp. Chlorine can react with all of these organic wastes to produce structurally diverse organochlorine compounds. However, most reactions take place with the lignin fraction producing simple but toxic monoaromatic compounds such as chlorinated phenols, guaiacols, and catechols, as well as high molecular weight chlorolignins.

---

(12) Sinclair (1990).

(13) Kringstad and Lindstrom (1984), p. 236A-247A.

RECYCLED / RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

The latter compounds are thought to be generally nontoxic, as their large size precludes their penetration or transport across cell membranes. In spite of this, they are not environmentally benign, as they carry chromophoric structures that discolour receiving waters. Also, there is the potential for the release of toxic compounds as the chlorolignins slowly degrade.(14,15,16)

C. Dioxins and Furans

Polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDDs) and polychlorinated dibenzo-p-furans (PCDFs) have been identified in emissions from the pulp industry. Their concentration in stack gases from the burning of condensed black liquor is very low. In Sweden it has been estimated that the annual production of 4 million tonnes of pulp results in approximately 2 grams of PCDD and PCDF congeners emitted into the air.(17)

PCDDs and PCDFs also are produced during pulp bleaching, where they are formed from chlorinated phenols, and particularly from chlorinated 2-phenoxyphenols. Bleachery effluents account for the release of 5 - 15 grams total PCDD and PCDF congeners per year in Sweden. Accordingly, the Swedish pulp industry is responsible for only a very small amount (1.7%) of the approximately 1 kg of PCDDs and PCDFs released from all sources in that country. This has been verified by comparison of isomer patterns. The pulp industry produces primarily 2,3,7,8-tetrachloro-dibenzo-p-dioxin and 2,3,7,8-tetrachloro-dibenzo-p-furan, while the isomer profiles from incinerator operations are distinctly different.(18)

---

(14) *Ibid.*

(15) A.H. Neilson, *et al.*, "The Environmental Fate of Chlorophenolic Constituents of Bleachery Effluents," *Tappi Journal*, Vol. 73, 1990, p. 239-247.

(16) J. Paasivirta, *et al.*, "Polychlorinated Phenols, Guaiacols, and Catechols in Environment," *Chemosphere*, Vol. 14, 1985, p. 469-491.

(17) S.E. Swanson, *et al.*, "Emissions of PCDDs and PCDFs from the Pulp Industry," *Chemosphere*, Vol. 17, 1988, p. 681-691.

(18) *Ibid.*

RECYCLED · RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Similarly, in the United States, it was estimated that in 1990 the pulp and paper industry would be contributing only 1.5% of the approximately 40 kg of total PCDDs and PCDFs released to the environment annually.(19)

Although total environmental contribution is quite low, the pulp and paper industry has spent large sums of money on research and development to eliminate or at least greatly reduce these compounds in effluents and paper products. The industry is threatened by publicity and public fear of dioxins, which peaked with the discovery of dioxin in milk cartons. It has been possible to reduce the dioxin level in milk carton cardboard to 2 parts per trillion, a level indistinguishable from typical background levels in milk.(20)

IDENTIFICATION OF COMPOUNDS HAZARDOUS TO HUMAN HEALTH

During the past century many chlorinated organic pesticides, solvents, refrigerants, etc., that have been chemically synthesized, have been found to be highly toxic, and/or extremely difficult to degrade and remove from the environment. These man-made chemicals are called xenobiotics. They are not natural chemicals, in that they have never been produced in nature by animal or plant metabolism. As such, they have no natural enemies; that is, microorganisms have not been in contact with these chemicals long enough to evolve the enzyme systems necessary for their rapid degradation. Similarly, many of the chlorinated organic compounds randomly synthesized during pulp bleaching are toxic xenobiotics that will persist for long periods in the environment.

The situation can often be made worse if pulp mill effluents are released to oxygen-limited or depleted (anaerobic) waters. Certain species of anaerobic bacteria can methylate chlorinated organic compounds, thereby making the compounds less toxic to the bacteria. Unfortunately, this mechanism generally increases both the toxicity and lipophilicity of

---

(19) R. Stillman, "Dioxin," *Hazardous Materials Management*, Vol. 2, 1990, p. 38-42.

(20) *Ibid.*

RECYCLED · RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

the compound to higher animals. Lipophilic compounds are preferentially soluble in fats. When a methylated-chlorinated compound is consumed by fish or fowl, rather than being completely eliminated in the urine it may become sequestered in body fat in a phenomenon termed "bioaccumulation." The toxic compound becomes more and more concentrated as it is carried up the food chain.(21)

Wood is approximately 50% cellulose. This means, even after taking into consideration by-product recovery, the volume and variety of organic and chlorinated organic wastes generated by the pulp and paper industry is immense. The magnitude of this waste problem necessitates the identification of those chemicals that pose a significant threat to human health. The identification of toxic, mutagenic, and potentially carcinogenic compounds and the waste streams that produce them is essential in order to mitigate them at source and to develop technologies for their safe degradation.

Although a large variety of chlorinated compounds are present in pulp mill effluents, they are seldom at concentrations that would cause acute toxicity. For example, the minimum lethal oral doses (for human beings) of the common bleach effluent compounds trichloromethane and pentachlorophenol are 14.8 grams and 1.2 grams respectively for a 70 kg adult.(22,23) Accordingly, the danger to human health from organochlorines emanating from pulp and paper mills is primarily through long-term exposure via drinking water, and bioaccumulation through the consumption of contaminated fish.

The toxic compounds most often identified in aquatic life below pulp and paper mill effluent discharge points are tri-, and tetrachloroguaiacols, tetrachlorocatechols and di-, tri-, tetra-, and

---

(21) A. Kierkegaard and L. Renberg, "Chemical Characterization of Organochlorine Compounds, Originating from Pulp Mill Effluents in Fish," *Water Science and Technology*, Vol. 20, 1988, p. 165-170.

(22) H.G. Schroeder, "Acute and Delayed Chloroform Poisoning: A Case Study," *British Journal of Anaesthesia*, Vol. 37, 1965, p. 972-975.

(23) R.H. Dreisbach, *Handbook of Poisonings: Prevention, Diagnosis, and Treatment*, 10th ed., Lange Medical Publ., Los Altos, California, 1980, 364 p.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

pentachlorophenols.[24,25] Also of concern is the lignin breakdown product acetovanillone, which has been found to undergo chemical degradation and chlorination to produce toxic chlorinated acetones. The most toxic of these is 1,1,3-trichloroacetone which has been found in bleachery effluents at concentrations up to 2.4 mg/litre.[26]

Considerable attention has also been directed toward identification of the mutagenic (and thereby potentially carcinogenic) compounds in pulp mill effluents. Strategies for the evaluation of pulp-mill effluents for mutagenic potential have generally followed three approaches: assessment of whole effluent streams, of fractionated effluent streams, and of pure compounds known to be effluent components. In the first approach, authentic waste solutions are tested, in which chemical and physical interactions and possible synergistic effects are maintained. The many studies performed on whole pulp mill waste streams are all in agreement that the first-chlorination-stage effluent shows high mutagenic activity, while other effluents and process streams show no or reduced mutagenicity.[27]

Examination of fractionated effluent streams, and the individual testing of approximately 300 known constituent chemicals of pulp mill effluents, showed that 39 compounds exhibited weak to very strong mutagenic activity. Two resin acids (neoabietic and 7-oxodehydroabietic acid), two chlorinated spirodiones, tri-, tetra-, penta-, and

---

(24) J. Paasivirta, *et al.*, "Transportation and Enrichment of Chlorinated Phenolic Compounds in Different Aquatic Food Chains," *Chemosphere*, Vol. 9, 1980, p. 441-456.

(25) J.J. Tana, "Sublethal Effects of Chlorinated Phenols and Resin Acids on Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*," *Water Science Technology*, Vol. 20, 1988, p. 77-85.

(26) A.B. McKague, *et al.*, "Chloroacetones in Pulp Mill Chlorination-stage Effluents," *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 9, 1990, p. 1301-1303.

(27) G.R. Douglas, *et al.*, "Mutagenic Activity in Pulp Mill Effluents," *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, R.L. Jolley, *et al.* (eds.), Vol. 3, Ann Arbor Science, Ann Arbor, 1980, p. 865-880.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

hexachloroacetone, and a number of chlorinated aliphatic hydrocarbons were identified as mutagenic agents.(28,29)

Chloroacetones, although demonstrating substantial mutagenicity, do not pose a serious human health risk as these compounds are quite unstable and tend to degrade rapidly in receiving waters.(30) On the other hand, chlorinated aliphatic hydrocarbons, such as trichloro- and tetrachloroethylene, and their breakdown products are known mammalian carcinogens.(31) The observation that two resin acids exhibited mutagenic activity is of concern, as these acids degrade very slowly in anaerobic environments. Resin acids have also been found to bioaccumulate in fish at sublethal concentrations. The combination of persistence, bioaccumulation, and mutagenic activity makes these compounds a potential health risk.(32)

The most potent bacterial mutagen in pulp mill effluents was identified as 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone (MX). This compound was found to be responsible for 30 to 50% of the mutagenicity of chlorination-stage effluents. In the Ames test, MX demonstrated a mutagenic potential nearly two-fold greater than the extremely potent mould

---

(28) G.R. Douglas, *et al.*, "Mutagenicity of Pulp and Paper Mill Effluent: a Comprehensive Study of Complex Mixtures," *Short-Term Bioassays in the Analysis of Complex Environmental Mixtures III*, M.D. Waters, *et al.* (eds.), Plenum Press, New York, 1983, p. 431-459.

(29) A.B. McKague, *et al.*, "Chloroacetones: Mutagenic Constituents of Bleached Kraft Chlorination Effluent," *Mutation Research*, Vol. 91, 1981, p. 301-306.

(30) M.A. Nazar and W.H. Rapson, "pH Stability of Some Mutagens Produced by Aqueous Chlorination of Organic Compounds," *Environmental Mutagenesis*, Vol. 4, 1982, p. 435-444.

(31) R.E. Miller and F.P. Guengerich, "Metabolism of Trichloroethylene in Isolated Hepatocytes, Microsomes, and Reconstituted Enzyme Systems Containing Cytochrome P450," *Cancer Research*, Vol. 43, 1983, p. 1145-1152.

(32) E.R. Nestmann, *et al.*, "Mutagenicity of Resin Acids Identified in Pulp and Paper Mill Effluents Using the Salmonella/Mammalian-Microsome Assay," *Environmental Mutagenesis*, Vol. 1, 1979, p. 361-369.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

metabolite aflatoxin B1.(33) This is therefore a compound of concern. Research has shown that MX stability decreases with increasing pH in the range of pH 2 - 6. Most waste water treatment facilities operate at a pH of 6 to 7. Accordingly, MX should be deactivated and destroyed at pulp mills where the bleach plant effluent goes directly for conventional waste water treatment. However, MX could pose a serious risk if mill effluents were discharged directly to receiving waters. This is particularly so in Canada and Northern Europe where lake and river waters may be slightly acidic due to poor buffering capacity, high humic acid content, and acid rain.

Dioxins are routinely described in the news media as extremely dangerous, toxic, cancer-causing agents. In spite of the extreme public fear of dioxins, it has not been established that the polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzo-p-furans pose a serious threat to human health. There is some indication, however, that dioxins increase the risk of soft-tissue sarcomas in heavily exposed industrial workers; and, acute dioxin exposure is known to have caused nausea and a relatively long-lasting (2-3 years) skin condition called chloracne.(34,35) There have been no human deaths from acute toxicity of dioxins, even though over 200 people in Nitro, West Virginia, in 1949, and 37,000 people in Seveso, Italy, in 1976, were possibly exposed to dioxin-laden dust. In these incidents many contaminated animals died; however, human suffering was limited to nausea and cases of severe chloracne. Follow-up studies have not shown an increased incidence of cancer or birth defects. Although dioxin and furan cogeners do not appear to be highly toxic to humans beings, they are extremely toxic to certain

---

(33) J.R. Meier, *et al.*, "Studies on the Potent Bacterial Mutagen, 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone: Aqueous Stability, XAD Recovery and Analytical Determination in Drinking Water and in Chlorinated Humic Acid Solutions," *Mutation Research*, Vol. 189, 1987, p. 363-373.

(34) R. Stillman (1990), p. 38-42.

(35) P.N. Cheremisinoff, "High Hazard Pollutants: Asbestos, PCBs, Dioxins, Biomedical Wastes," *Pollution Engineering*, Vol. 21, 1989, p. 58-65.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

species of animals. For example, in the guinea pig the LD_{50} dosage for dioxin is 0.6 micrograms/kg; while the LD50 concentration for hamsters is about 5000 times greater.(36)

DISCHARGE REGULATIONS

Many countries are now legislating discharge limits for pulp and paper mill effluents. For 1991 the Swedish permissible discharge limit was set at 1.2 to 1.3 kg total organic chlorine per tonne of pulp.(37) This means that for each tonne of pulp produced, only 1.3 kg of organic material that is chemically reacted (combined) with chlorine can be discharged to the aqueous environment. Three Canadian provinces have initiated discharge regulations using the more stringent generic classification of Adsorbable Organic Halogen (AOX).(38) This is more stringent, because it includes all halogen compounds (chlorine, fluorine, bromine, etc.) that might be chemically bonded or adsorbed to organic matter issuing from a pulp mill. The Ontario discharge limit was set at 2.5 kg AOX/tonne pulp, with a further reduction to 1.5 kg AOX/tonne pulp by 1993. A similar preliminary limit was set in British Columbia, with mandatory secondary treatment in 1991, and reduction to 1.5 kg AOX/tonne pulp by the end of 1994. In Quebec AOX levels of 1.5 kg/tonne pulp and zero detectable levels for dioxins and furans are to be met by 31 December

---

(36) E.E. McConnell, *et al.*, "The Comparative Toxicity of Chlorinated Dibenzo-p-dioxin Isomers to Mice and Guinea Pigs," *Toxicology and Applied Pharmacology*, Vol. 37, 1976, p. 146-153.

(37) J. Basta, *et al.*, "Low AOX, Possibilities and Consequences," *1989 Pulping Conference*, Tappi Press, Atlanta, 1989, p. 427-436.

(38) P. Axegard, "Improvement of Bleach Plant Effluent by Cutting Back on Cl_2," *Pulp and Paper Canada*, Vol. 90, 1989, p. 78-81.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

1993.(39,40) For comparison, the average AOX discharge in untreated effluent from a Kraft mill is 8.0 kg per tonne of softwood pulp.(41)

In December 1991 the Canadian government announced new federal regulations to control pulp mill pollution. As of 1 January 1994, any measurable level of dioxins or furans in pulp mill effluent will constitute a violation of the regulations. In addition, wood chips that might be contaminated with preservatives and certain defoaming agents can no longer be used in the pulping process as they might contribute to the release of toxic pollutants.(42) While these regulations are national in scope, each province has the right to impose even more stringent regulations within its own jurisdiction.

Of the many pollutants in pulp and paper mill effluents, only dioxins and furans have been evaluated by Health and Welfare Canada as "priority substances." Dioxins and furans were declared to be toxic and to pose a possible risk to human health. For this reason, the federal government legislated specifically on dioxins and furans and did not include other known pollutants. This was not a "half-hearted" attempt at regulation, as some environmental groups have claimed; rather, it is expected that the process changes and the product substitution necessary to prevent the formation of dioxins and furans will have the effect of reducing the overall release of chlorinated organic compounds to less than 2 kg AOX/t.

Meeting these discharge limits will not be easy. In some cases it will mean the earlier closure of out-dated plants as the pulp and paper industry phases out old sulphite and Kraft mills and replaces them with new, more competitive, chemithermomechanical pulping plants.

---

(39) P. Dubelsten and N.C.C. Gray, "The Effects of Secondary Treatment on AOX Levels in Kraft Mill Effluents," *76th Annual Symposium of the Canadian Pulp and Paper Association*, Montreal, 1990, p. 317-324.

(40) G. Crittenden, "Operation Zero," *Hazardous Materials Management*, Vol. 2, 1990, p. 8-11.

(41) Eric R. Hall, *et al.*, "Organochlorine Discharges in Wastewaters from Kraft Mill Bleach Plants," *Environmental Conference of the Canadian Pulp and Paper Association*, Vancouver, 1988, p. 53-62.

(42) Environment Canada, *New Federal Regulations to Control Pulp Mill Pollution*, News Release PR-HQ-091-45, Ottawa, Environment Canada, 1991.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Compliance will definitely mean the adoption of alternative methods to reduce chlorine bleaching and the establishment of high-efficiency treatment facilities. Attainment of pollution abatement goals will also be very expensive. For example, Canadian Pacific Forest Products Ltd. spent $60-million on state-of-the-art treatment facilities for a pulp mill in Dryden, Ontario. This mill now meets Ontario AOX discharge regulations.(43)

POLLUTION ABATEMENT BY THE PULP AND PAPER INDUSTRY

Research and the development of new processes and techniques to curtail the release of toxic effluents from pulp and paper mills are following two approaches. The first strategy is the development of new pulping processes with emphasis on improved delignification, and the replacement or partial replacement of chlorine for bleaching. The second approach is the development of new biological treatment processes, particularly hybrid or dual systems that capitalize on the advantages afforded by both anaerobic and aerobic digestion.

A. In-Plant Process Changes

A new process called oxygen delignification has been found to be quite effective in removing the lignin and hemicellulose fraction from cellulose, and leaving the fibres relatively undamaged. The major environmental advantage is greater lignin removal, so that less lignin enters the bleach plant.

No toxic chlorinated organic compounds would be released in mill effluents if chlorine could be completely eliminated from the pulp-bleaching process. Partial replacement of chlorine by chlorine dioxide has been found to reduce greatly the emission of organochlorines, while complete substitution with hydrogen peroxide eliminates these toxic compounds. The use of hydrogen peroxide gives the additional benefit of

---

(43) Crittenden (1990), p. 8-11.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

assisting in the breakdown of other organic contaminants in the effluent through chemical oxidation reactions. Pulp bleached by hydrogen peroxide is not, however, as white as chlorine-bleached pulp.

B. End-of-Pipe Biological Treatment Processes

At present, most pulp and paper mills use aerated lagoons to treat their wastes prior to discharging them into receiving waters. This is done to ensure that the effluents meet Biological Oxygen Demand (BOD) discharge limits and pass fish toxicity tests. More sophisticated and expensive forms of waste water treatment will be required, however, if the pulp and paper industry is to meet the new, more stringent, discharge limits set for adsorbable organic halogens. It is essential that these new treatment technologies be designed to degrade those chemicals that pose the greatest threat to human health. The chemicals of concern are those that are toxic and/or mutagenic, have a tendency to bioaccumulate, and are difficult to degrade. Using these criteria, the degradation of all mutagenic compounds, resin acids, and chlorinated phenols, guaiacols, catechols, and chlorinated aliphatic hydrocarbons should be the focus of new treatment processes.

As previously stated, highly chlorinated compounds are quite stable and difficult to degrade. It is possible, however, for bacteria in the anaerobic environment (no oxygen) to conduct a transformation reaction whereby chlorine ions are replaced by hydrogen ions. The more chlorine ions that are removed, the more reactive the compound becomes, and the more susceptible to aerobic (oxygen present) microbial degradation in a conventional activated sewage sludge digester.(44,45) Accordingly, the establishment of sequential anaerobic-aerobic waste-water treatment facilities at Kraft pulp and paper mills will greatly help these plants to reduce their toxic emissions.

---

(44) M.D. Mikesell, and S.A. Boyd, "Complete Reductive Dechlorination and Mineralization of Pentachlorophenol by Anaerobic Microorganisms," *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 52, 1986, p. 861-865.

(45) M. Haggblom, "Mechanisms of Bacterial Degradation and Transformation of Chlorinated Monoaromatic Compounds," *Journal of Basic Microbiology*, Vol. 30, 1990, p. 115-141.

CYCLED RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Sequential anaerobic-aerobic treatment also effectively degrades mutagenic compounds and chlorinated aliphatic compounds, which are known mammalian carcinogens. However, resin acids cannot be degraded in an anaerobic environment. In fact, resin acids are highly toxic to anaerobic bacteria, and can cause an anaerobic waste-water system to fail.(46) Therefore, the sequential system is not recommended for CTMP wastes that often contain high concentrations of resin acids. However, these acids can be degraded by aerobic digestion. In Sweden a three-stage process of aerobic-anaerobic-aerobic has been investigated and found to degrade both resin acids and organochlorines successfully.(47)

C. Pollution Abatement - A Case Study

Over a 15-year period, alterations in pulp processing and waste treatment at the E.B. Eddy Forest Products Ltd. Kraft mill in Espanola, Ontario, have enabled this mill not only to meet but to exceed the Ontario 1993 discharge limit of 1.5 kg AOX/t pulp. In 1970, this mill discharged effluent directly into the Spanish River, polluting the river for 32 km, and upsetting the benthic population to the mouth of the river, a distance of 52 km.

In 1977, North America's first oxygen delignification process was started as an extension of the pulp-cooking process. This resulted in 50% lower lignin input to the bleach plant, increased pulp brightness and strength, and a 23% reduction in bleaching cost. Biological treatment was implemented in 1983. This consisted of a 12-hour settling basin (primary treatment), a 6-day aerated lagoon (secondary treatment), and a 12-hour quiescent zone to settle biosolids.

Strict controls were put in place. Evaporator condensate was steam-stripped and burnt. Black liquor soap scum was skimmed and processed into tall oil. As well, in-plant spill collection and a sewer

---

(46) R. Sierra-Alvarez and G. Lettinga, "The Methanogenic Toxicity of Wood Resin Constituents," *Biological Wastes,* Vol. 33, 1990, p. 211-226.

(47) T. Welander, "An Anaerobic Process for Treatment of CTMP Effluent," *Water Science Technology,* Vol. 20, 1988, p. 143-147.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

monitoring system were established. These controls all served to protect the microbial population of the lagoon from shock loads of effluent. Finally, in 1988 chlorine dioxide substitution for chlorine bleaching was instituted. At 52% substitution, dioxins and furans could not be detected in pulp or in bleachery effluents, and AOX effluent emissions were reduced to below 1 kg/t pulp. The environmental improvements at this mill have been so pronounced that the Spanish River is no longer polluted and supports pickerel fishing. In addition, the quiescent zone and outfall pond support cattails, ducks and beavers.(48)

CONCLUDING REMARKS

Many pulp and paper mills use chlorine as a bleaching agent to produce high-quality white pulp. The high organic content of mill waste, coupled with the presence of chlorine, results in the production of many highly toxic chlorinated organic compounds. Of prime concern are chlorinated phenols, guaiacols, catechols, furans, dioxins, aliphatic hydrocarbons and the highly mutagenic agent MX. In addition, two natural wood resin acids, neoabietic and 7-oxodehydroabietic acids, exhibit mutagenic activity. These compounds pose a human health risk through long-term exposure via drinking water, and through bioaccumulation along the food chain.

The pulp and paper industry is starting to implement new technologies that greatly lower the concentration of toxic substances in mill effluents. In-plant reduction of toxic emissions is being effected through the installation of new oxygen delignification processes, and replacement or partial replacement of chlorine by hydrogen peroxide or chlorine dioxide for pulp bleaching. End-of-pipe clean-up of mill effluents can be accomplished by new biological treatment processes, such as sequential anaerobic-aerobic digestion. Stringent regulation of pulp and paper mill discharge by provincial and federal authorities will

---

(48) F.C. Munro, "Environmentally Influenced Evolution of E.B. Eddy Espanola's Bleaching Sequences," *Bleach Plant Operations*, Tappi Press, Atlanta, 1990, p. 13-24.

RECYCLED · RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

necessitate large capital expenditures by the industry. This may mean the early closure of old mills, and economic hardship for many communities. At the same time, however, these regulations will ensure improved environmental quality and a reduction of the risk to human health that is posed by this vital industry.

SELECTED REFERENCES

Axegard, P. "Improvement of Bleach Plant Effluent by Cutting Back on Cl_2." *Pulp and Paper Canada*, Vol. 90, 1989, p. 78-81.

Basta, J. *et al.* "Low AOX, Possibilities and Consequences." *1989 Pulping Conference*, Tappi Press, Atlanta, 1989, p. 427-436.

Carruthers, George. *Paper in the Making.* Garden City Press Coop., Toronto, 1947, 712 p.

Cheremisinoff, P.N. "High Hazard Pollutants: Asbestos, PCBs, Dioxins, Biomedical Wastes." *Pollution Engineering*, Vol. 21, 1989, p. 58-65.

Crittenden, G. "Operation Zero." *Hazardous Materials Management*, Vol. 2, 1990, p. 8-11.

Douglas, G.R. *et al.* "Mutagenic Activity in Pulp Mill Effluents." *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects.* R.L. Jolley, *et al.* (eds.). Vol. 3, Ann Arbor Science, Ann Arbor, 1980, p. 865-880.

Douglas,G.R. *et al.* "Mutagenicity of Pulp and Paper Mill Effluent: a Comprehensive Study of Complex Mixtures." *Short-Term Bioassays in the Analysis of Complex Environmental Mixtures III.* M.D. Waters, *et al.* (eds.). Plenum Press, New York, 1983, p. 431-459.

Dreisbach, R.H. *Handbook of Poisonings: Prevention, Diagnosis, and Treatment.* 10th ed. Lange Medical Publ., Los Altos, California, 1980, 364 p.

Dubelsten, P. and N.C.C. Gray, "The Effects of Secondary Treatment on AOX Levels in Kraft Mill Effluents." *76th Annual Symposium of the Canadian Pulp and Paper Association*, Montreal, 1990, p. 317-324.

Environment Canada. *Emissions and Trends of Common Air Contaminants in Canada: 1970-1980.* Report EPS 7/AP/17. Environment Canada, Ottawa, 1986, 104 p.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Environment Canada. *New Federal Regulations to Control Pulp Mill Pollution.* News Release PR-HQ-091-45. Environment Canada, Ottawa, 1991.

Haggblom, M. "Mechanisms of Bacterial Degradation and Transformation of Chlorinated Monoaromatic Compounds." *Journal of Basic Microbiology,* Vol. 30, 1990, p. 115-141.

Hall, Eric R. *et al.*, "Organochlorine Discharges in Wastewaters from Kraft Mill Bleach Plants." *Environmental Conference of the Canadian Pulp and Paper Association,* Vancouver, 1988, p. 53-62.

Kierkegaard, A. and L. Renberg. "Chemical Characterization of Organochlorine Compounds, Originating from Pulp Mill Effluents in Fish." *Water Science and Technology,* Vol. 20, 1988, p. 165-170.

Kringstad, K.P. and K. Lindstrom. "Spent Liquors from Pulp Bleaching." *Environmental Science and Technology,* Vol. 18, 1984, p. 236A-247A.

McConnell, E.E. *et al.* "The Comparative Toxicity of Chlorinated Dibenzo-p-dioxin Isomers to Mice and Guinea Pigs." *Toxicology and Applied Pharmacology,* Vol. 37, 1976, p. 146-153.

McKague, A.B. *et al.* "Chloroacetones in Pulp Mill Chlorination Stage Effluents." *Environmental Toxicology and Chemistry,* Vol. 9, 1990, p. 1301-1303.

McKague, A.B. *et al.* "Chloroacetones: Mutagenic Constituents of Bleached Kraft Chlorination Effluent." *Mutation Research,* Vol. 91, 1981, p. 301-306.

Meier, J.R. *et al.* "Studies on the Potent Bacterial Mutagen, 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone: Aqueous Stability, XAD Recovery and Analytical Determination in Drinking Water and in Chlorinated Humic Acid Solutions." *Mutation Research,* Vol. 189, 1987, p. 363-373.

Mikesell, M.D. and S.A. Boyd. "Complete Reductive Dechlorination and Mineralization of Pentachlorophenol by Anaerobic Microorganisms." *Applied and Environmental Microbiology,* Vol. 52, 1986, p. 861-865.

Miller R.E. and F.P. Guengerich. "Metabolism of Trichloroethylene in Isolated Hepatocytes, Microsomes, and Reconstituted Enzyme Systems Containing Cytochrome P450." *Cancer Research,* Vol. 43, 1983, p. 1145-1152.

Munro, F.C. "Environmentally Influenced Evolution of E.B. Eddy Espanola's Bleaching Sequences." *Bleach Plant Operations,* Tappi Press, Atlanta, 1990, p. 13-24.

Nazar M.A. and W.H. Rapson. "pH Stability of Some Mutagens Produced by Aqueous Chlorination of Organic Compounds." *Environmental Mutagenesis,* Vol. 4, 1982, p. 435-444.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Neilson, A.H. *et al.* "The Environmental Fate of Chlorophenolic Constituents of Bleachery Effluents." *Tappi Journal*, Vol. 73, 1990, p. 239-247.

Nestmann, E.R. *et al.* "Mutagenicity of Resin Acids Identified in Pulp and Paper Mill Effluents Using the Salmonella/Mammalian Microsome Assay." *Environmental Mutagenesis*, Vol. 1, 1979, p. 361-369.

Paasivirta, J. *et al.* "Transportation and Enrichment of Chlorinated Phenolic Compounds in Different Aquatic Food Chains." *Chemosphere*, Vol. 9, 1980, p. 441-456.

Paasivirta, J. *et al.* "Polychlorinated Phenols, Guaiacols, and Catechols in Environment." *Chemosphere*, Vol. 14, 1985, p. 469-491.

Schroeder, H.G. "Acute and Delayed Chloroform Poisoning: A Case Study." *British Journal of Anaesthesia*, Vol. 37, 1965, p. 972-975.

Sierra-Alvarez, R. and G. Lettinga. "The Methanogenic Toxicity of Wood Resin Constituents." *Biological Wastes*, Vol. 33, 1990, p. 211-226.

Sinclair, William F. *Controlling Pollution from Canadian Pulp and Paper Manufacturers: A Federal Perspective.* Environment Canada, Ottawa, 1990, 360 p.

Springer, A.M. *Industrial Environmental Control: Pulp and Paper Industry.* John Wiley and Sons, N.Y., 1986, p. 3.

Stillman, R. "Dioxin." *Hazardous Materials Management*, Vol. 2, 1990, p. 38-42.

Swanson, S.E. *et al.* "Emissions of PCDDs and PCDFs from the Pulp Industry." *Chemosphere*, Vol. 17, 1988, p. 681-691.

Tana, J.J. "Sublethal Effects of Chlorinated Phenols and Resin Acids on Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*." *Water Science Technology*, Vol. 20, 1988, p. 77-85.

Welander, T. "An Anaerobic Process for Treatment of CTMP Effluent." *Water Science Technology*, Vol. 20, 1988, p. 143-147.

RECYCLED/RECYCLÉ

Étude générale

BP-292F

PÂTES ET PAPIERS: RÉDUCTION DES EFFLUENTS TOXIQUES

William Murray
Division des sciences et de la technologie

Avril 1992

Bibliothèque du Parlement
Library of Parliament

Service de recherche

Le Service de recherche de la Bibliothèque du Parlement travaille exclusivement pour le Parlement, effectuant des recherches et fournissant des informations aux parlementaires et aux comités du Sénat et de la Chambre des communes. Entre autres services non partisans, il assure la rédaction de rapports, de documents de travail et de bulletins d'actualité. Les attachés de recherche peuvent en outre donner des consultations dans leurs domaines de compétence.

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1992
En vente au Canada chez
votre libraire local
ou par la poste auprès du
Groupe Communication Canada -- Édition
Ottawa, Canada K1A OS9

N° de catalogue YM32-2/292F
ISBN 0-660-93848-0

THIS DOCUMENT IS ALSO PUBLISHED IN ENGLISH

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

TABLE DES MATIÈRES

	Page
INTRODUCTION	1
HISTORIQUE DE LA FABRICATION DU PAPIER	2
L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS: UNE SOURCE DE POLLUTION	4
A. Structure des matières ligneuses	4
B. Réduction en pâte	6
C. Dioxines et furanes	10
DÉTERMINATION DES COMPOSÉS DANGEREUX POUR LA SANTÉ HUMAINE	12
RÈGLEMENTS RÉGISSANT LES REJETS	17
LUTTE CONTRE LA POLLUTION DANS L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS	20
A. Modification du procédé à l'usine	20
B. Traitements biologiques au point de rejet	20
C. Lutte contre la pollution - Une étude de cas	22
CONCLUSIONS	23
BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE	24

RECYCLED/RECYCLÉ

CANADA
LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

PÂTES ET PAPIERS: RÉDUCTION DES EFFLUENTS TOXIQUES

INTRODUCTION

L'industrie des pâtes et papiers consomme d'énormes ressources énergétiques, aquatiques et forestières. Cette industrie, qui a atteint le stade de la maturité, est innovatrice et s'adapte rapidement aux changements technologiques afin de demeurer concurrentielle sur les marchés internationaux. Cette industrie d'importance en Europe septentrionale et en Amérique du Nord a vu le jour au cours de la seconde moitié du XIX^{e} siècle, à une époque où l'on ne s'intéressait guère aux effets nocifs possibles de la pollution industrielle sur l'environnement ou sur la santé humaine. Aux États-Unis, les usines de pâtes et papiers occuperaient maintenant le troisième rang sur la liste des principaux pollueurs(1). Au Canada, cette industrie serait à l'origine, selon les estimations, de 50 p. 100 de tous les déchets rejetés dans le milieu aquatique(2) et d'environ 5,6 p. 100 des contaminants couramment émis dans l'atmosphère par des sources industrielles connues(3).

La pollution par l'industrie des pâtes et papiers est à la fois une tradition au Canada et une conséquence de la réalité économique internationale. Les technologies qui permettraient de réduire considérablement les émissions, plus particulièrement celles qui constituent un risque pour la santé humaine, existent déjà. Toutefois, les usines de pâtes et papiers ont des dépenses en capital qui s'élèvent à

---

(1) A.M. Springer, *Industrial Environmental Control: Pulp and Paper Industry*, New York, John Wiley and Sons, 1986, p. 3.

(2) William F. Sinclair, *La lutte contre la pollution découlant de la fabrication de pâtes et papiers au Canada: perspective fédérale*, Ottawa, Environnement Canada, 1990, 392 p.

(3) Environnement Canada, *Émissions des principaux polluants atmosphériques au Canada et tendances (1970 à 1980)*, Rapport SPE 7/AP/17, Ottawa, Environnement Canada, 1986.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

plus de 500 millions de dollars, et l'installation du matériel nécessaire aux nouvelles technologies qui permettraient de réduire la pollution entraînerait régulièrement des coûts supplémentaires de plusieurs centaines de millions de dollars. La mise en oeuvre de mesures de protection de l'environnement devra donc se faire d'une manière qui permette à l'industrie de demeurer économiquement viable tout en garantissant la qualité de la santé humaine et la qualité de l'environnement.

Il faudrait, pour trouver une solution rentable sur le plan économique, saisir la nature du problème et déterminer quels composés spécifiques constituent un danger pour la santé humaine et la qualité de l'environnement. On pourrait alors choisir et installer le matériel nécessaire aux nouvelles technologies, en vue de prévenir la production d'effluents toxiques. En variante, il serait peut-être plus rentable, selon les circonstances économiques et l'âge de l'usine, de prévoir l'installation d'un système de traitement au point de rejet des eaux usées. Les techniques de réduction en pâte et de blanchiment varient énormément d'une usine à l'autre. En conséquence, la solution qui s'impose dans le cas d'une usine ne peut être appliquée aux problèmes environnementaux de l'ensemble de l'industrie.

HISTORIQUE DE LA FABRICATION DU PAPIER

Les toutes premières feuilles servant à l'écriture étaient constituées de papyrus, chez les Égyptiens, et de tissus de soie, chez les Chinois. Le premier papier véritable, préparé à partir de matière végétale fibreuse contenant de la cellulose, a été fabriqué en Chine en l'an 105 de notre ère. À cette époque, les vêtements que portaient les Chinois étaient fabriqués principalement à partir de ramie *(Boehmeria nivea)*, une plante fibreuse courante. Les chiffonniers ramassaient les vêtements usagés qu'ils vendaient aux fabricants de papier; ces derniers réutilisaient la cellulose pour en faire du papier(4).

---

(4) George Carruthers, *Paper in the Making*, Toronto, Garden City Press Coop., 712 p.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

La technologie de la fabrication du papier s'est lentement propagée à travers le monde arabe et, en l'an 1150, a atteint l'Europe par l'entremise des Maures d'Espagne. De 1150 jusqu'au milieu du XIX[e] siècle, le papier était fabriqué à partir de matières cellulosiques recyclées, par exemple chiffons, cordages, filets de pêche et canevas. Les vêtements que portaient les Européens étaient surtout faits de toile ou de laine. Le lin, qui servait à la fabrication de la toile, a donc, pendant des siècles, constitué la principale source de papier en Europe(5). Le lin *(Linum usitatissimum)*, une plante dont la taille atteint 1,2 mètre, donne des fibres ligneuses beaucoup plus longues que les fibres tirées d'un bois véritable et qui, contrairement à ces dernières, sont souples, tendres et très résistantes et se séparent facilement les unes des autres. Ces qualités sont très utiles dans la fabrication de papiers spéciaux qui doivent être à la fois doux et très résistants. Aujourd'hui, la plus grande partie des billets de banque sont faits d'un papier de lin de grande qualité fabriqué au Canada.

La première fabrique de papier au Bas-Canada a été fondée en 1803 dans le village de St. Andrews, à proximité de l'endroit où se trouve maintenant Lachute, au Québec. En 1820, on trouvait un certain nombre de fabriques au Bas-Canada et au Haut-Canada. Jusqu'à l'année de la Confédération, ces fabriques étaient généralement petites et utilisaient des cordages, du tissu de jute, des déchets de lin, ainsi que de la paille comme matière première. À Georgetown, en Ontario, la fabrique de papier Barber a installé des chaudières à paille en 1861 et a fabriqué du papier à partir de paille provenant des fermes de la région. À cette époque, toutes les matières cellulosiques utilisées dans la fabrication du papier avaient déjà subi un traitement assez poussé ou étaient des matières premières dont on pouvait facilement extraire les fibres de cellulose. On n'utilisait pas le bois comme matière première, car la technologie et le matériel permettant de découper ce matériau et de le broyer à peu de frais en copeaux dont la taille convenait au procédé de fabrication utilisé alors n'avaient pas encore été mis au point.

---

(5) *Ibid.*

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Aux environs de 1850, John Taylor, de la fabrique de papier Don Valley, à Toronto, fut le premier au Canada à mettre au point un procédé de fabrication de pâte de bois, procédé qu'il a ensuite breveté. L'utilisation de bois comme source de matière cellulosique constituait la première percée technologique d'importance depuis 1 700 ans dans le domaine de la fabrication du papier. Ce progrès a bouleversé l'industrie. Aujourd'hui, les 144 grosses usines de pâtes et papiers au Canada consomment de vastes quantités de bois et produisent de la pâte brute et du papier fini qui sont écoulés sur les marchés mondiaux.

L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS: UNE SOURCE DE POLLUTION

Pour apprécier les sources de polluants dont cette industrie est à l'origine, il y a lieu de revoir la composition de la matière première utilisée, c'est-à-dire le bois, ainsi que les traitements chimiques et mécaniques qu'il faut lui faire subir pour produire les pâtes de qualité nécessaires à la fabrication du papier.

A. Structure des matières ligneuses(6)

Le bois renferme trois principaux constituants, soit la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. Les proportions de ces trois substances peuvent varier d'une espèce à l'autre, mais elles sont à peu près de 50 p. 100 pour la cellulose, de 25 p. 100 pour l'hémicellulose et de 25 p. 100 pour la lignine. La cellulose est une molécule linéaire très longue constituée d'une chaîne dont chaque maillon est un glucose. Des microfibrilles, constituées de faisceaux de molécules de cellulose, s'assemblent pour former des fibrilles et, enfin, des fibres de cellulose. Les liaisons hydrogène formées entre les molécules linéaires assurent une solide structure microcristalline. N'étant en fait que du glucose constituant une structure moléculaire solidement liée, la cellulose est très sensible à la dégradation par les micro-organismes. Malgré cette

---

(6) K.P. Kringstad et K. Lindstrom, "Spent Liquors form Pulp Bleaching", *Environmental Science and Technology*, vol. 18, 1984, p. 236A-247A.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

sensibilité, elle résiste assez bien à l'attaque des bactéries et des moisissures, en raison du revêtement protecteur d'hémicellulose et de lignine qui enveloppe ses fibres.

L'hémicellulose est constituée d'un assemblage aléatoire de sucres à cinq atomes de carbons. Ces longues molécules ramifiées entourent les fibres cellulosiques et pénètrent dans les pores de la cellulose. L'hémicellulose se lie, par formation de liaisons hydrogène, avec la couche suivante, la lignine, et agit essentiellement comme un agent de liaison chimique entre la cellulose et la lignine.

La lignine est un polymère phénylpropanoïque complexe qui enveloppe la structure cellulose-hémicellulose et la rend plus résistante. Elle est composée de trois motifs de type phénolique qui, en se polymérisant dans un ordre totalement aléatoire, forment une structure se dégradant très difficilement. La dégradation lente de la lignine, lorsqu'elle se produit, libère des composés phénoliques qui, en général, sont toxiques. C'est pourquoi la dégradation biologique de la lignine n'est avantageuse que pour un nombre limité de micro-organismes. La lignine contient environ 51 p. 100, exprimé en phénol monomérique, de substances aromatiques. Ce sont les composés phénoliques produits au cours de la dégradation de la lignine pendant le blanchiment au chlore de la pâte qui sont responsables de la proportion élevée de composés toxiques présent dans les effluents des usines de pâte.

De plus, le bois renferme de 1,5 à 5 p. 100 de substances extractibles (c'est-à-dire de constituants pouvant être extraits par des solvants organiques), dont acides résiniques, graisses, cires, terpénoïdes, tanins, flavonoïdes, stilbènes et tropolines. Ces substances sont généralement présentes dans les effluents des usines en concentration beaucoup plus faibles que les composés phénoliques, mais certaines d'entre elles sont relativement toxiques et peuvent réduire considérablement la qualité de l'eau et nuire aux habitats marins des lacs et des rivières recevant des effluents d'usines.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

B. Réduction en pâte

Cette opération a pour but de séparer les fibres de cellulose des autres constituants du bois et de la récupérer à l'état le plus pur et le plus intact possible. Il existe de nombreux procédés de réduction en pâte; ces procédés évoluent et changent selon les circonstances imposées par l'état de l'économie et du marché. Le défibrage à la meule a été le premier procédé de réduction en pâte utilisé à grande échelle; il permet d'obtenir des rendements élevés et produit peu de déchets, mais on obtient des fibres endommagées qui sont peu résistantes. Ce procédé est de moins en moins utilisé depuis la mise au point du procédé chimique qui donne des fibres plus longues et plus résistantes(7).

Au cours de la première moitié du XX^e siècle, le procédé au bisulfite était celui qu'on utilisait le plus souvent au Canada, jusqu'à ce qu'il soit remplacé par le procédé kraft. Aujourd'hui, la pâte kraft constitue une part très importante de la production totale de pâtes. Par exemple, 46,5 p. 100 de toute la pâte fabriquée au Canada était, en 1984, de la pâte kraft(8). Outre qu'il donne des fibres de haute qualité, ce procédé comporte une étape de traitement de la liqueur résiduaire permettant de récupérer le tallol (acides gras et acides résiniques), la térébenthine et la bioénergie et de recycler les produits chimiques inorganiques(9).

Le procédé chimiothermomécanique (PCTM) risque maintenant de supplanter le procédé kraft. Dans le procédé PCTM, on peut régler la composition chimique, la température et les paramètres mécaniques pour optimiser la séparation de la cellulose d'espèces de bois bien précises. Ce procédé comporte de nombreux avantages économiques: résistance, degré de blancheur et polyvalence de la pâte obtenue; faible quantité d'énergie nécessaire; besoins moindres en matière de traitement; faible quantité d'eau nécessaire; possibilité d'utilisation d'une grande gamme d'espèces de

---

(7) Sinclair (1990).

(8) *Ibid.*

(9) Kringstad et Lindstrom (1984), p. 236A-247A.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

bois; et, ce qui constitue l'avantage le plus important, rendement extrêmement élevé (de 90 à 92 p. 100 des fibres disponibles contre de 40 à 42 p. 100 dans le cas du procédé kraft).

Malheureusement, les nouveaux progrès qui rendent l'industrie des pâtes et papiers plus concurrentiels ne sont pas nécessairement conçus pour réduire la pollution. Le procédé PCTM ne comprend pas, comme le procédé kraft, une étape de recyclage-récupération. Dans le cas du procédé PCTM, le débit d'eau plus faible et le taux plus élevé de récupération des fibres se traduisent par le rejet d'une plus grande quantité de lignine et de substances extractibles et augmentent considérablement le risque de rejet d'effluents toxiques concentrés(10). Le rejet d'effluents de blanchiment au chlore dans les déchets organiques vient aggraver le problème. Les usines utilisant le procédé PCTM auraient eu un effet dévastateur sur l'environnement canadien, si elles avaient été construites 20 ans plus tôt. Il existe maintenant des règlements stricts relatifs à la pollution, et les nouvelles usines PCTM sont dotées des dispositifs de dépollution nécessaires pour assurer le respect des exigences de toxicité de leurs effluents. En fait, l'industrie des pâtes et papiers cherche maintenant à mettre au point des usines PCTM "à émission nulle" ou "à boucle fermée", c'est-à-dire des usines qui récupéreront tous les déchets produits et qui réutiliseront l'eau nécessaire au procédé.

Il n'y a plus guère d'usines de fabrication de pâte utilisant le procédé au bisulfite, qui sont encore en exploitation au Canada, et les nouvelles usines PCTM respectent généralement les normes relatives aux effluents. Les usines qui utilisent le procédé kraft demeurent donc la principale source d'effluents toxiques rejetés par les usines de fabrication de pâte. Nous décrivons brièvement les sources de pollution dans le schéma 1 et dans le court exposé ci-après sur le fonctionnement d'un atelier de blanchiment et d'une usine conventionnelle utilisant le procédé kraft.

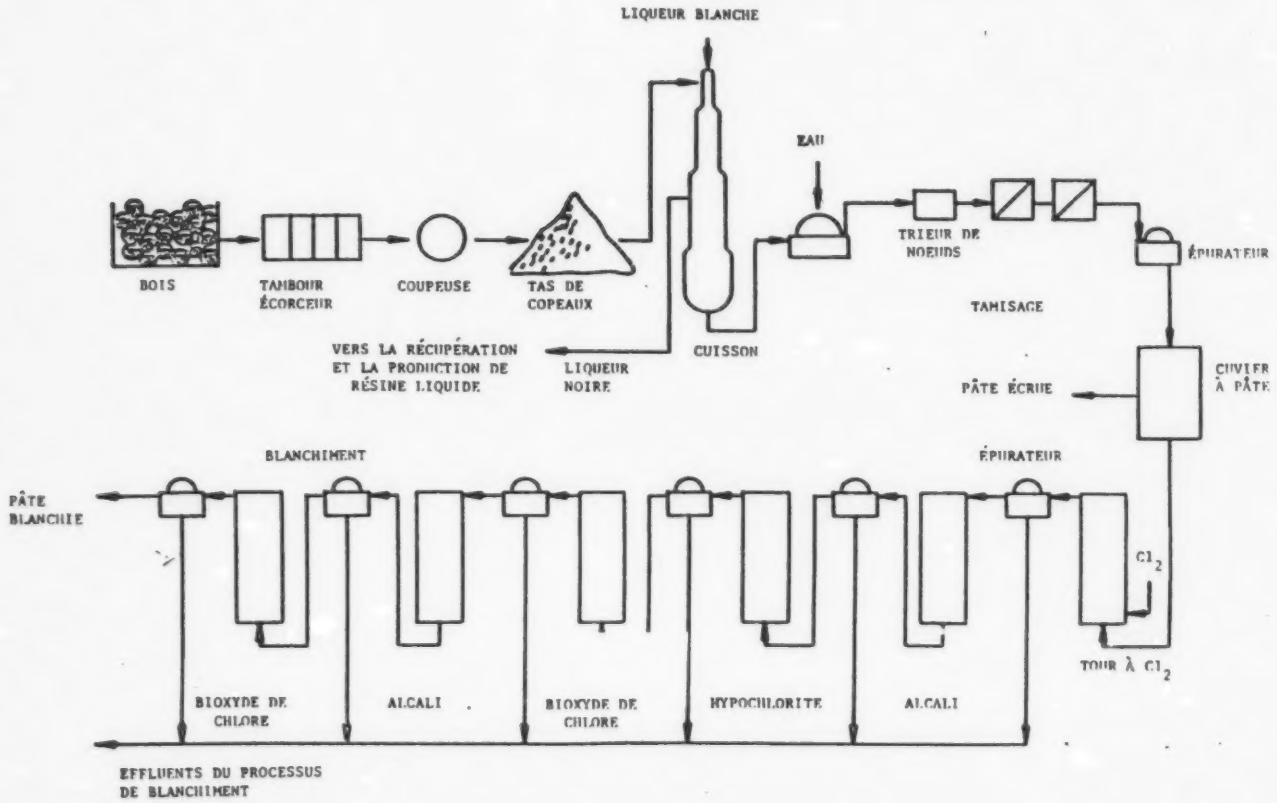
---

(10) Sinclair (1990).

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Figure 1: Schéma général de fonctionnement d'une usine de pâte kraft et d'un atelier de blanchiment



Source: Kringstad et Lindstrom (1984).

On écorce les billes, puis on les passe au déchiqueteur. La réduction en pâte comprend d'abord un traitement des copeaux de bois à une température de 160 à 180 °C dans une solution de sulfite de sodium et d'hydroxyde de sodium appelée "eau blanche". Ce traitement ouvre les liaisons éther de la lignine; il dissout de 90 à 95 p. 100 de la lignine, pratiquement toute l'hémicellulose et les substances extractibles, ainsi

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

qu'une petite quantité de polysaccharides dérivés de la cellulose. Environ 55 p. 100 du bois initial est dissous dans une solution qu'on appelle maintenant "liqueur noire". On récupère les sous-produits, puis on évapore la liqueur jusqu'à l'obtention d'une solution très concentrée que l'on brûle ensuite pour récupérer l'énergie et les produits inorganiques(11).

On piège dans un réfrigérant la phase évaporée qui peut contenir du soufre inorganique sous forme de sulfate, de sulfite ou de dithionite; on obtient ainsi une eau usée riche en soufre appelée condensat d'évaporation. Les émissions très volatiles présentes dans le réfrigérant, ainsi que les composés et les gaz volatils provenant de la combustion de la liqueur noire concentrée sont rejetés dans l'atmosphère. Parmi les polluants atmosphériques rejetés pendant la réduction en pâte, on compte les matières particulaires, le dioxyde de soufre et tous les composés réduits du soufre. Ces derniers comprennent principalement l'hydrogène sulfuré, le méthul-mercaptan, le sulfure de diméthyle et le disulfure de diméthyle. Ces composés sont responsables des odeurs désagréables qu'on associe aux usines de pâte. En raison du très faible seuil de perception olfactive de ces polluants, on peut déceler leur odeur désagréable à des concentrations qui sont rarement nocives pour la santé humaine. En conséquence, les émissions des usines de pâte entraînent surtout une diminution de la qualité esthétique de l'environnement atmosphérique, bien que le noircissement des habitations et des bâtiments par l'hydrogène sulfuré ne soit pas rare(12).

On arrête la réduction en pâte lorsque la teneur en lignine atteint entre 5 et 10 p. 100, car toute délignification plus poussée diminuerait la qualité des fibres. Dans l'atelier de blanchiment, on prépare une suspension contenant 3 p. 100 de pâte que l'on traite ensuite avec du chlore à raison de 60 à 70 kg/t, à un pH de 1,5 à 2,0. On filtre la suspension que l'on traite ensuite avec un alcali (à raison de 35 à 40 kg/t), à un pH de 11 et à une température varient de 55 à 70 °C. Les opérations ultérieures de blanchiment peuvent varier, mais elles

---

(11) Kringstad et Lindstrom (1984), p. 236A-247A.

(12) Sinclair (1990).

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

comprennent normalement des traitements avec un hypochlorite, du dioxyde de chlore, un alcali et du dioxyde de chlore. Après chaque traitement, on filtre la pâte et on réunit les liquides de traitement qui constituent alors l'effluent de blanchiment(13).

Durant le blanchiment, on dissout environ 1 kg de substances extractibles, 19 kg de polylsaccharides et 50 kg de lignine à partir d'une tonne de pâte de bois résineux. Le chlore peut réagir avec tous ces résidus organiques pour donner divers composés organochlorés. Toutefois, la plupart des réactions font intervenir la lignine et produisent des composés monoaromatiques simples mais toxiques, comme des phénols chlorés, des gaïacols et des cathécols, ainsi que des chlorolignines de poids moléculaire élevé. Ces derniers composés seraient généralement non toxiques, estime-t-on, leur grande taille les empêchant de pénétrer les membranes cellulaires ou de se déplacer à travers celles-ci. Malgré leur faible toxicité, ces composés ne sont pas sans danger pour l'environnement, car ils comportent des structures chomophores qui décolorent les eaux dans lesquelles ils sont rejetés. De plus, les chlorolignines risquent, en se dégradant lentement, de libérer des composés toxiques(14, 15, 16).

C. Dioxines et furanes

On a décelé la présence de polychlorodibenzo-p-dioxines (PCDD) et de polychlorodibenzo-p-furanes (PCDF) dans les émissions des usines de pâte. Leur concentration dans les gaz de cheminée produits au cours de la combustion de la liqueur noire concentrée est très faible. On a estimé, en Suède, que la production annuelle de quatre millions de tonnes

---

(13) Kringstad et Lindstrom (1984), p. 236A-247A.

(14) *Ibid.*

(15) A.H. Neilson *et al.*, "The Environmental Fate of Chlorophenolic Constituents of Bleachery Effluents", *Tappi Journal*, vol. 73, 1990, p. 239-247.

(16) J. Paasivirta *et al.*, "Polychlorinated Phenols, Guaiacols, and Cathecols in the Environment", *Chemosphere*, vol. 14, 1985, p, 469-491.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

de pâte entraîne l'émission dans l'air d'environ deux grammes de congénères de PCDD et de PCDF(17).

Le blanchiment de la pâte produit aussi des PCDD et des PCDF qui sont formés à partir de phénols chlorés et plus particulièrement à partir de 2-phénoxyphénols chlorés. Les effluents de blanchiment contiennent de 5 à 15 grammes des PCDD et PCDF totaux rejetés chaque année en Suède. En conséquence, l'industrie suédoise de la pâte n'est responsable que d'une faible fraction (1,7 p.100) des quelque 1 000 g de PCDD et PCDF rejetés par toutes les sources dans ce pays. On a vérifié ce chiffre en comparant les compositions isomériques. L'industrie de la pâte produit principalement de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-diozine et du 2,3,78-tétrachlorodibenzo-p-furane, alors que les profils isomériques des émissions des incinérateurs sont nettement différents(18). De même, en 1990, l'industrie des pâtes et papiers aux États-Unis n'a contribué, estime-t-on, qu'à 1,5 p. 100 des quelque 40 kg de PCDD et PCDF totaux rejetés annuellement dans l'environnement(19).

Bien que la quantité totale rejetée dans l'environnement soit assez faible, l'industrie des pâtes et papiers a affecté d'importantes sommes aux travaux de recherche et développement, dans le but d'éliminer ou du moins de diminuer considérablement la concentration de ces composés dans les effluents et dans les produits de papier. L'industrie est menacée par la publicité entourant les dioxines et par la peur que suscitent ces composés chez le grand public; cette peur a atteint son paroxysme avec la découverte de dioxines dans le carton dont sont constitués les contenants de lait. On a réussi à réduire la concentration de dioxines dans le carton de ces contenants à deux parties par billion, soit une concentration

---

(17) S.E. Swanson *et al.*, "Emissions of PCDDs and PCDFs from the Pulp Industry", *Chemosphere*, vol. 17, 1988, p. 681 - 691.

(18) *Ibid.*

(19) R. Stillman, "Dioxin", *Hazardous Materials Management*, vol. 2, 1990, p. 38-42.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

indiscernable des concentrations de fond caractéristiques dans le lait(20).

DÉTERMINATION DES COMPOSÉS DANGEREUX POUR LA SANTÉ HUMAINE

Au cours des cent dernières années, on a constaté que de nombreux pesticides organiques, solvants, frigorigènes, etc., obtenus par synthèse chimique, étaient très toxiques ou extrêmement difficiles à dégrader et à éliminer de l'environnement, ou les deux. On désigne ces substances d'origine anthropique par le terme xénobiotique. Ces substances ne sont pas naturelles, c'est-à-dire qu'elles n'ont jamais été produites naturellement par métabolisme chez les animaux ou chez les plantes. Elles n'ont donc aucun "ennemi" naturel, c'est-à-dire qu'aucun micro-organisme n'a été en contact assez longtemps avec ces composés pour élaborer les systèmes enzymatiques nécessaires à leur dégradation rapide. De même, de nombreux composés organiques chlorés synthétisés de façon aléatoire pendant le blanchiment de la pâte sont des xénobiotiques toxiques qui persisteront pendant de longues périodes dans l'environnement.

La situation sera souvent plus grave, si les effluents des usines de pâte sont rejetés dans des eaux dont la teneur en oxygène est faible ou même nulle (eaux anaérobies). Certaines espèces de bactéries anaérobies peuvent méthyler les composés organiques chlorés et ainsi les rendre moins toxiques pour elles-mêmes. Malheureusement, ce mécanisme augmente généralement le caractère lipophile du composé ainsi que sa toxicité pour les animaux supérieurs. Les composés lipophiles sont plus solubles dans les graisses. Lorsque les poissons ou les oiseaux consomment un composé chloré méthylé, ce composé, au lieu d'être éliminé avec l'urine, peut être retenu dans la graisse: on qualifie ce phénomène de

---

(20) *Ibid.*

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

"bioaccumulation", car la quantité de composé toxique accumulée augmente au fur et à mesure que l'on s'élève dans la chaîne alimentaire(21).

Environ 50 p. 100 du bois est constitué de cellulose. Ainsi, même si l'on récupère les sous-produits, les quantités et la variété de déchets organiques et de déchets organiques chlorés produits par l'industrie des pâtes et papiers sont énormes. Il est donc nécessaire, devant ces quantités et cette variété de déchets, de déterminer quels produits chimiques constituent une menace importante pour la santé humaine. Il est essentiel de déterminer quels composés organiques sont toxiques, mutagènes ou potentiellement cancérogènes et de repérer les déchets dont ils proviennent, afin de les atténuer à la source et de mettre au point des techniques permettant de les dégrader sans danger.

Les effluents d'usines de pâte contiennent une grande variété de composés chlorés, mais ces composés sont rarement en concentrations suffisamment élevées pour provoquer un effet de toxicité aiguë. Par exemple, les doses létales minimum par voie orale (chez les humains) du trichlorométhane et du pentachlorophénol, deux composés que l'on trouve couramment dans les effluents de blanchiment, sont de 14,8 g et de 1,2 g respectivement pour un adulte de 70 kg(22,23). En conséquence, les produits organochlorés rejetés par les usines de pâtes et papiers risquent surtout de nuire à la santé humaine à la suite d'une exposition à long terme par consommation d'eau potable et à la suite de bioaccumulation par consommation de poissons contaminés.

---

(21) A. Kierkegaard et L. Renberg, "Chemical Characterization of Organochlorine Compounds, Originating from Pulp Mill Effluents in Fish", *Water Science and Technology*, vol. 20, 1988, p. 165-170.

(22) H.G. Schroeder, "Acute and Delayed Chloroform Poisoning: A Case Study", *British Journal of Anaesthesia*, vol. 37, 1965, p. 972-975.

(23) R.H. Dreisbach, *Handbook of Poisonings: Prevention, Diagnosis, and Treatment*, 10e édition, Los Altos (Californie), Lange Medical Publ., 1980, 364 p.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Les tri- et tétrachlorogaïacols, les tétrachlorocathécols et les di-, tri-, tétra- et pentachlorophénols sont les composés toxiques les plus souvent décelés dans les organismes aquatiques en aval des points de rejet des effluents des usines de pâtes et papiers[24, 25]. L'acétovanillone, un produit de décomposition de la lignine qui, par dégradation chimique et chloration, donne des chloroacétones toxiques, suscite aussi de l'inquiétude. La 1,1,3-trichloroacétone, la plus toxique des chloroacétones, a été décelée dans des effluents de blanchiment à des concentrations atteignant parfois 2,4 mg/l[26].

La détermination des composés mutagènes (et donc potentiellement cancérogènes) dans les effluents des usines de pâte a aussi fait l'objet d'un examen approfondi. Les stratégies d'évaluation des effluents d'usines de pâte, servant à déterminer le potentiel mutagène, font appel, en général, à trois approches: évaluation de l'effluent global, évaluation de l'effluent fractionné et évaluation de composés purs constituant l'effluent. Avec la première approche, on évalue des solutions de déchets authentiques dans lesquelles on maintient les interactions chimiques et physiques ainsi que les effets synergiques possibles. Dans toutes les études, et elles sont nombreuses, qui ont porté sur l'effluent global des usines de pâte, on s'accorde pour dire que l'effluent produit au cours de la première étape de chloration possède une grande activité mutagène, tandis que la mutagénicité des autres effluents et des liquides à traiter est faible sinon nulle[27].

---

(24) J. Paasivirta *et al.*, "Transportation and Enrichment of Chlorinated Phenolic Compounds in Different Aquatic Food Chains", *Chemosphere*, vol. 9, 1980, p. 441-456.

(25) J.J. Tana, "Sublethal Effects of Chlorinated Phenols and Resin Acids on Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*", *Water Science Technology*, vol. 20, 1988, p. 77-85.

(26) A.B. McKague *et al.* "Chloroacetones in Pulp Mill Chlorination-stage Effluents", *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 9, 1990, p. 1301-1303.

(27) G.R. Douglas *et al.*, "Mutagenic Activity in Pulp Mill Effluents", *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects*, R.L. Jolley *et al.* (éd.)., vol. 3, Ann Arbor, Ann Arbor Science, 1980, p. 865-880.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

L'examen des effluents fractionnés et l'évaluation individuelle des quelque 300 produits chimiques qui, on le sait, sont présents dans les effluents des usines de pâte ont révélé que 39 composés possèdent une activité mutagène variant de faible à très intense. On a déterminé que deux acides résiniques (l'acide néoabiétique et l'acide 7-oxohydroabiétique), deux spirodiones chlorées, les tri-, tétra-, penta- et hexachloroacétones, ainsi qu'un certain nombre d'hydrocarbures aliphatiques chlorés sont des agents mutagènes(28, 29).

Bien qu'elles possèdent une activité mutagène considérable, les chloroacétones ne constituent pas un risque grave pour la santé humaine, car ces composés sont assez instables et ont tendance à se dégrader rapidement dans les eaux réceptrices(30). D'autre part, les hydrocarbures aliphatiques chlorés, comme le trichloroéthylène et le tétrachloroéthylène, ainsi que leurs produits de décomposition sont des cancérogènes connus chez les mammifères(31). L'activité mutagène des deux acides résiniques suscite de l'inquiétude, car ces acides se dégradent très lentement dans les milieux anaérobies. On a aussi constaté que les acides résiniques se bioaccumulent dans le poisson à des concentrations sublétales. Ces composés constituent un risque possible pour la santé en

---

(28) G.R. Douglas *et al.*, "Mutagenicity of Pulp and Paper Mill Effluent: A Comprehensive Study of Complex Mixtures", *Short-Term Bioassays in the Analysis of Complex Environmental Mixtures III*, M.D. Waters *et al.* (éd.), New York, Plenum Press, 1983, p. 431-459.

(29) A.B. McKague *et al.*, "Chloroacetones: Mutagenic Constituents of Bleached Kraft Chlorination Effluent", *Mutation Research*, vol. 91, 1981, p. 301-306.

(30) M.A. Nazar et W.H. Rapson, "pH Stability of Some Mutagens Produced by Aqueous Chlorination of Organic Compounds", *Environmental Mutagenesis*, vol. 4, 1982, p. 435-444.

(31) R.E. Miller et F.P. Guengerich, "Metabolism of Trichloroethylene in Isolated Hepatocytes, Microsomes and Reconstituted Enzyme Systems Containing Cytochrome P450", *Cancer Research*, vol. 43, 1983, p. 1145-1152.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

raison de leur persistance, de leur capacité de bioaccumulation et de leur activité mutagène(32).

La 3-chloro-4-(dichlorométhyl)-5-hydroxy-2-(5H)-furanone (MX) est le mutagène bactérien le plus puissant dont on ait déterminé la présence dans les effluents des usines de pâte. Ce composé est responsable, a-t-on constaté, de 30 à 50 p. 100 de la mutagénicité des effluents produits au cours de l'étape de chloration. Selon le test d'Ames, la MX possède un potentiel mutagène deux fois plus important que celui du métabolite extrêmement mutagène de la moisissure aflatoxine B1(33). Ce composé suscite donc de l'inquiétude. Des recherches ont montré que la stabilité de la MX diminue au fur et à mesure que le pH augmente dans la plage de pH 2 à 6. La plupart des installations de traitement des eaux usées fonctionnent à un pH de 6 à 7. En conséquence, il faudrait inactiver et détruire la MX dans les usines de pâte font les effluents de blanchiment sont acheminés directement vers les installations de traitement classiques des eaux usées. Toutefois, la MX pourrait constituer un risque grave si les effluents des usines étaient rejetés directement dans les eaux réceptrices, plus particulièrement au Canada et en Europe septentrionale où les eaux des lacs et des cours d'eau peuvent être légèrement acides en raison de leur faible capacité tampon, de leur teneur élevée en acide humique et des précipitations acides.

Les médias décrivent régulièrement les dioxines comme des substances extrêmement dangereuses et toxiques qui causent des cancers. Malgré la peur énorme que suscitent les dioxines chez le grand public, il n'a pas été établi que les polychlorodibenzo-p-dioxines et les polychlorodibenzo-p-furanes constituent une grave menace pour la santé humaine. Toutefois, les dioxines augmenteraient, selon certaines

---

(32) E.R. Nestmann *et al.*, "Mutagenicity of Resin Acids Identified in Pulp and Paper Mill Effluents Using the Salmonella/Mammalian-Microsome Assay", *Environmental Mutagenesis*, vol. 1, 1979, p. 361-369.

(33) J.R. Meier *et al.*, "Studies of the Potent Bacterial Mutagen, 3-chloro-4-(dichloremethyl)-5-hydroxy-2-(5H)1-furanone; Aqueous Stability, XAD Recovery and Analytical Determination in Drinking Water and in Chlorinated Humic Acid Solutions", *Mutation Research*, vol. 189, 1987, p. 363-373.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

indications, le risque de sarcomes des tissus mous chez les travailleurs industriels fortement exposés; une exposition aiguë aux dioxines a provoqué des nausées et une maladie de la peau de durée relativement longue (de 2 à 3 ans) appelée acné chlorique(34,35). Plus de 200 personnes à Nitro (Virginie occidentale), en 1949, et 37 000 personnes à Seveso (Italie), en 1976, ont été exposées à de la poussière contenant des dioxines, mais aucune n'est décédée des suites de la toxicité aiguë de ces substances. De nombreux animaux sont morts à la suite de ces incidents, mais les symptômes chez les humains étaient limités à des nausées et à des cas graves d'acné chlorique. Des études ultérieures n'ont pas fait état d'une fréquence accrue de cancers ou d'anomalies congénitales. Bien que les congénères de dioxines et de furanes ne semblent pas très toxiques pour les humains, ils sont extrêmement toxiques pour certaines espèces animales. Par exemple, la DL_{50} des dioxines est de 0,6 microgrammes/kg chez les cobayes; elle est environ 5 000 fois plus élevée chez les hamsters(36).

RÈGLEMENTS RÉGISSANT LES REJETS

De nombreux pays légifèrent actuellement en vue de limiter les rejets des usines de pâtes et papiers. En 1991, les quantités admissibles rejetées en Suède ont été limitées à entre 1,2 et 1,3 kg de chlore organique total/tonne de pâte produites(37). Ainsi, pour chaque tonne de pâte produite, seul 1,3 kg de produits organiques ayant réagi chimiquement (combiné) avec du chlore peut être rejeté dans l'environnement aquatique. Trois provinces canadiennes ont entrepris de mettre au point

---

(34) R. Stilman (1990), p. 38-42.

(35) P.N. Cheremisinoff, "High Hazard Pollutants: Asbestos, PCBs, Dioxins, Biomedical Wastes", *Pollution Engineering*, vol. 21, 1989, p. 58-65.

(36) E.E. McConnell *et al.*, "The Comparative Toxicity of Chlorinated Dibenzodioxin Tsomers to Mice and Guinea Pigs", *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 37, 1976, p. 146-153.

(37) J. Basta *et al.*, "Low AOX, Possibilities and Consequences", *1989 Pulping Conference*, Atlanta, Tappi Press, 1989, p. 427-436.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

des règlements sur les rejets, en se basant sur la classification générique plus stricte que constituent les halogènes organiques absorbables (AOX)(38). Ce paramètre est plus strict, car il vise tous les composés halogénés (chlorés, fluorés, bromés, etc.) susceptibles d'être liés chimiquement à des matières organiques rejetées par une usine de pâte, ou d'être adsorbés sur de telles matières. En Ontario, cette limite est de 2,5 kg AOX/tonne de pâte et sera diminuée à 1,5 kg AOX/tonne de pâte en 1993. La Colombie-Britannique a établi une limite préliminaire semblable qui prévoit l'application d'un traitement secondaire obligatoire en 1991 et une concentration dans les rejets d'au plus 1,5 kg AOX/tonne de pâte à la fin de 1994. Au Québec, des limites de 1,5 kg/tonne de pâte pour les AOX et de 0 p. 100 (c.-à-d. non décelable) pour les dioxines et les furanes entreront en vigueur le 31 décembre 1993(39,40). À titre de comparaison, les quantités de AOX rejetées avec les effluents d'usines de pâte kraft sont de 8,0 kg/tonne de pâte de bois résineux(41).

En décembre 1991, le gouvernement canadien annonçait l'application de nouveaux règlements fédéraux en matière de pollution par les usines de pâtes. À compter du 1er janvier 1994, la présence de toute concentration mesurable de dioxines ou de furanes dans les effluents des usines de pâte constituera une infraction aux règlements. De plus, il sera interdit d'utiliser, pour fabriquer de la pâte, des copeaux de bois susceptibles d'avoir été contaminés par des agents de préservation et certains agents servant à éliminer la mousse, car ces substances risquent

---

(38) P. Axegard, "Improvement of Bleach Plant Effluent by Cutting Back on C12", *Pulp and Paper Canada*, vol. 90, 1989, p. 78-81.

(39) P. Dubelsten et N.C.C. Gray, "The Effects of Secondary Treatment on AOX Levels in Kraft Mill Effluents", *76e Symposium annuel de l'Association canadienne des pâtes et papiers*, Montréal, 1990, p. 317-324.

(40) G. Crittenden, "Operation Zero", *Hazardous Materials Management*, vol. 2, 1990, p. 811.

(41) Eric E. Hall *et al.*, "Organochlorine Discharges in Wastewaters from Kraft Mill Bleach Plants", *Conférence sur l'environnement de l'Association canadienne des pâtes et papiers*, Vancouver, 1988, p. 53-62.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

de dégager des polluants toxiques(42). Bien que ces règlements soient applicables à l'échelle nationale, chaque province peut imposer sur son territoire des règlements encore plus stricts.

Parmi les nombreux polluants présents dans les effluents des usines de pâtes, seuls les dioxines et les furanes ont été évalués par Santé et Bien-être social Canada comme des "substances d'intérêt prioritaire". Il a été déclaré que les dioxines et les furanes étaient des substances toxiques qui constituaient un risque pour la santé humaine. C'est pour cette raison que les lois fédérales visent précisément les dioxines et les furanes et ne tentent pas d'inclure d'autres polluants connus. Il ne s'agissait pas d'une "timide" tentative de réglementation, comme le prétendaient certains groupes qui se préoccupent de l'environnement; on s'attend plutôt à ce que les modifications qu'il faudra apporter aux procédés et que les produits de rechange qu'il faudra utiliser pour prévenir la formation de dioxines et de furanes réduiront à moins de 2 kg AOX/tonne de pâte l'ensemble des rejets de composés organiques chlorés.

Le respect de ces limites ne sera pas chose facile. Il faudra, dans certains cas, exiger la fermeture hâtive des usines démodées, au fur et à mesure du remplacement des anciennes usines utilisant le procédé au bisulfite ou le procédé kraft par des usines plus concurrentielles qui fabriquent de la pâte chimiothermomécanique. Le respect des règlements entraînera définitivement l'adoption de méthodes de rechange, permettant de réduire le blanchiment au chlore, et la mise sur pied d'installations de traitement très efficaces. La réalisation des objectifs de réduction de la pollution entraînera aussi des coûts très élevés. Par exemple, la société Les Produits forestiers Canadien Pacifique Limitée a dépensé 60 millions de dollars pour doter son usine de pâte de Dryden (Ontario) d'une installation de traitement très perfectionnée(43).

---

(42) Environnement Canada, *Une nouvelle réglementation fédérale contrôlera la pollution causée par les papetières*, Communiqué de presse PR-HQ-091-45, Ottawa, Environnement Canada, 1991.

(43) Crittenden (1990), p. 813.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

LUTTE CONTRE LA POLLUTION DANS L'INDUSTRIE DES PÂTES ET PAPIERS

Les travaux de recherche et de développement sur les nouveaux procédés et les nouvelles techniques permettant de réduire les effluents toxiques font appel à deux approches. La première vise la mise au point de nouveaux procédés de réduction en pâte axés sur une délignification plus efficace et le remplacement total ou partiel par une autre substance du chlore servant au blanchiment. La seconde vise la mise au point de nouveaux procédés de traitement biologique, plus particulièrement de systèmes hybrides ou doubles qui tireraient profit des procédés de digestion tant anaérobie qu'aérobie.

A. Modification du procédé à l'usine

Un nouveau procédé, appelé délignification à l'oxygène, permet d'enlever très efficacement la lignine et l'hémicellulose de la cellulose, en endommageant relativement peu les fibres. L'élimination d'une plus grande proportion de la lignine, se traduisant par la présence d'une quantité moindre de lignine pendant le blanchiment, constitue le principal avantage de ce procédé sur le plan environnemental.

La quantité de composés organochlorés toxiques rejetés dans les effluents des usines de pâte serait nulle, si on éliminait complètement le chlore du procédé de blanchiment. Le remplacement du chlore par du dioxyde de chlore réduit considérablement la quantité de composés organochlorés rejetés, tandis que l'utilisation de peroxyde d'hydrogène permet d'éliminer complètement ces composés toxiques. Le peroxyde d'hydrogène facilite aussi la décomposition par oxydation d'autres polluants organiques présents dans l'effluent. Toutefois, la pâte blanchie au peroxyde d'hydrogène n'est pas aussi blanche que celle qui est blanchie au chlore.

B. Traitements biologiques au point de rejet

Actuellement, la plupart des usines de pâtes et papiers traitent leurs déchets dans des bassins aérés avant de les rejeter dans les eaux réceptrices. On effectue ce traitement en vue d'assurer le respect

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

des limites relatives à la demande biologique d'oxygène (DBO) et des exigences relatives à la toxicité pour les poissons. Toutefois, l'industrie des pâtes et papiers devra, pour respecter les nouvelles limites plus strictes relatives aux halogènes organiques absorbables, faire subir aux eaux usées un traitement plus perfectionné et plus coûteux. Il est essentiel que ces nouvelles techniques soient conçues de façon à dégrader les produits chimiques qui constituent la menace la plus importante pour la santé humaine, c'est-à-dire les produits toxiques ou mutagènes, les produits qui ont tendance à se bioaccumuler et les produits difficilement dégradables. Les nouveaux procédés de traitement devraient, si on applique ces critères, permettent de dégrader tous les composés mutagènes, les acides résiniques, les cathécols, les gaïacols et les phénols chlorés, ainsi que les hydrocarbures aliphatiques chlorés.

Comme nous l'avons déjà mentionné, les composés fortement chlorés sont très stables et difficilement dégradables. Toutefois, les bactéries peuvent, dans un milieu anaérobie (dépourvu d'oxygène), remplacer le chlore par de l'hydrogène. Plus le degré de déchloration est élevé, plus le composé obtenu est réactif et plus il est sensible à la dégradation microbienne aérobie (en présence d'oxygène) dans un digesteur conventionnel à boue résiduaire activée[44,45]. En conséquence, l'installation, dans les usines de pâtes et papiers utilisant le procédé kraft, de systèmes de traitement séquentiels anaérobie-aérobie permettra de réduire considérablement les rejets toxiques de ces usines.

Le traitement séquentiel anaérobie-aérobie permet aussi de dégrader efficacement les composés mutagènes et les composés aliphatiques chlorés, qui sont des ancérogènes connus chez les mammifères. Toutefois, les acides résiniques ne peuvent pas être dégradés en milieu anaérobie. En fait, les acides résiniques sont très toxiques pour les bactéries anaérobies et peuvent entraîner la défaillance des systèmes de traitement

---

(44) M.D. Mikesell et S.A. Boyd, "Complete Reductive Dechlorination and Mineralization of Pentachlorophenol by Anaerobic Microorganisms", *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 52, 1986, p. 861-865.

(45) M. Haggblom, "Mechanisms of Bacterial Degradation and Transformation of Chlorinated Monoaromatic Compounds", *Journal of Basic Microbiology*, vol. 30, 1990, p. 115-141.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

anaérobie des eaux usées(46). Le système séquentiel n'est donc pas recommandé pour le traitement des déchets du procédé PCTM qui contiennent des acides résiniques en concentrations élevées. Cependant, ces acides peuvent être dégradés par digestion aérobie. On a étudié, en Suède, un procédé à trois étapes comprenant des traitements aérobie-anaérobie-aérobie, et on a constaté que ce procédé permettait de dégrader efficacement les acides résiniques et les composés organochlorés(47).

C. Lutte contre la pollution - Une étude de cas

Au cours d'une période de 15 ans, les modifications apportées au procédé de réduction en pâte et au traitement des déchets à l'usine de pâte kraft, située à Espanola (Ontario), de la société E.B. Eddy Forest Products Ltd. ont permis non seulement d'atteindre mais de dépasser l'exigence de 1,5 kg AOX/tonne de pâte, qui entrera en vigueur en Ontario en 1993. En 1970, cette usine rejetait directement ses effluents dans la rivière Spanish, ce qui polluait ce cours d'eau sur une distance de 32 km et perturbait la population d'organismes benthiques qui y vivaient jusqu'à l'embouchure, soit à une distance de 52 km.

En 1977, le procédé de délignificaton à l'oxygène a, pour la première fois en Amérique du Nord, été appliqué à titre de traitement supplémentaire au procédé de cuisson de la pâte. Ce nouveau procédé a permis de réduire de 50 p. 100 la quantité de lignine à l'étape du blanchiment, d'accroître le degré de blancheur et la résistance de la pâte et de diminuer de 23 p. 100 le coût du blanchiment. Le traitement biologique, qui est apparu en 1983, comprend un traitement de décantation (traitement primaire) d'une durée de douze heures, un traitement en bassin aéré (traitement secondaire) d'une durée de six jours, puis une période sans agitation de douze heures destinée à faire précipiter les biosolides.

---

(46) R. Sierra-Alvarez et G. Lettinga, "The Methanogenic Toxicity of Wood Resin Constituents", *Biological Wastes*, vol. 33, 1990, p. 211-226.

(47) T. Welander, "An Anaerobic Process for Treatment of CTMP Effluent", *Water Science Technology*, vol. 20, 1988, p. 143-147.

(48) F.C. Munro, "Environmentally Influenced Evolution of E.B. Eddy Espanola's Bleaching Sequences", *Bleach Plant Operations*, Atlanta, Tappi Press, 1990, p. 13-24.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

De strictes mesures de lutte contre la pollution ont été appliquées. Le condensat d'évaporation était extrait à la vapeur, puis brûlé. Le résidu à la surface de la liqueur noire était écumé et converti en tallol. De plus, un dispositif de récupération des produits déversés à l'usine et un système de contrôle des égouts ont été mis en place. Toutes ces mesures permettaient de protéger la population microbienne du bassin de traitement contre des charges excessives d'effluent. Enfin, on a, en 1988, remplacé le chlore servant au blanchiment par du dioxyde de chlore. Avec un taux de remplacement de 52 p. 100, les dioxines et les furanes n'étaient décelables ni dans la pâte ni dans les effluents de blanchiment, et les quantités de AOX rejetés dans les effluents étaient inférieures à 1 kg/tonne de pâte. Les améliorations apportées à cette usine ont été si importantes, que la rivière Spanish n'est plus polluée et qu'on peut même y pêcher le brochet. De plus, on trouve des grenouilles, des canards et des castors dans la zone de traitement sans agitation, ainsi que dans l'étang au point d'évacuation des eaux traitées(48).

CONCLUSIONS

Dans de nombreuses usines de pâtes et papiers, on utilise le chlore comme agent de blanchiment pour fabriquer une pâte blanche de grande qualité. La teneur élevée en substances organiques des déchets, ainsi que la présence de chlore sont à l'origine des composés organochlorés hautement toxiques présents dans les effluents. Voici les composés qui suscitent le plus d'inquiétude: gaïacols, cathécols, phénols chlorés, furanes, dioxines, hydrocarbures aliphatiques et MX, une substance très mutagène. De plus, deux acides résiniques naturels présents dans le bois, soit l'acide néoabiétique et l'acide 7-oxohydroabiétique, possèdent une activité mutagène. Ces composés constituent un danger pour la santé humaine, en raison du risque d'exposition à long terme dans l'eau potable et du risque de bioaccumulation dans la chaîne alimentaire.

---

(48) F.C. Munro, "Environmentally Influenced Evolution of E.B. Eddy Espanola's Bleaching Sequences", *Bleach Plant Operations*, Atlanta, Tappi Press, 1990, p. 13-24.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

L'industrie des pâtes et papiers commence à appliquer de nouvelles techniques permettant de diminuer considérablement la concentration des substances toxiques dans les effluents des usines. On réduit les quantités de rejets toxiques en utilisant les nouveaux procédés de délignification à l'oxygène et en remplaçant en partie ou en totalité le chlore servant au blanchiment de la pâte, par du peroxyde d'hydrogène ou du dioxyde de chlore. L'épuration au point de rejet des effluents des usines peut être réalisée à l'aide des nouveaux procédés de traitement biologique, comme la digestion séquentielle anaérobie-aérobie. La réglementation stricte des rejets des usines de pâtes et papiers par les gouvernements fédéral et provinciaux entraînera, pour l'industrie, d'importantes dépenses en capital et pourrait se traduire par la fermeture hâtive des usines démodées, ce qui risquerait de susciter des difficultés économiques dans de nombreuses communautés. Toutefois, la mise en vigueur de ces règlements améliorera la qualité de l'environnement et diminuera le risque que représente cette industrie vitale pour la santé humaine.

BIBLIOGRAPHIE SÉLECTIVE

Axegard, P. "Improvement of Bleach Plant Effluent by Cutting Back on Cl_2". *Pulp and Paper Canada*, vol. 90, 1989, p. 78-81.

Basta, J. *et al.* "Low AOX, Possibilities and Consequences". *1989 Pulping Conference*, Atlanta, Tappi Press, 1989, p. 427-436.

Carruthers, George. *Paper in the Making.* Toronto, Garden City Press Coop., 1947, 712 p.

Cheremisinoff, P.N. "High Hazard Pollutants: Asbestos, PCBs, Dioxins, Biomedical Wastes". *Pollution Engineering*, vol. 21, 1989, p. 58-65.

Crittenden, G. "Operation Zero". *Hazardous Materials Management*, vol. 2, 1990, p. 8-11.

Douglas, G.R. *et al.* "Mutagenic Activity in Pulp Mill Effluents". *Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effects.* R.L. Jolley, *et al.* (éd.). vol. 3, Ann Arbor, Ann Arbor Science, 1980, p. 865-880.

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Douglas, G.R. *et al.* "Mutagenicity of Pulp and Paper Mill Effluent: a Comprehensive Study of Complex Mixtures." *Short-Term Bioassays in the Analysis of Complex Environmental Mixtures III.* M.D. Waters *et al.* (éd.). New York, Plenum Press, 1983, p. 431-459.

Dreisbach, R.H. *Handbook of Poisonings: Prevention, Diagnosis, and Treatment.* 10e édition. Los Altos (Californie), Lange Medical Publ., 1980, 364 p.

Dubelsten, P. and N.C.C. Gray, "The Effects of Secondary Treatment on AOX Levels in Kraft Mill Effluents". *76e Symposium annuel de l'Association canadienne des pâtes et papiers.* Montréal, 1990, p. 317-324.

Environnement Canada. *Émissions des principaux pollutants atmosphériques au Canada et tendances (1970 à 1980).* Rapport SPE 7/AP/17. Ottawa, 1986, 104 p.

Environnement Canada. *Une nouvelle réglementation fédérale contrôlera la pollution causé par les papetières.* PR-HQ-091-45. Ottawa, 1991.

Haggblom, M. "Mechanisms of Bacterial Degradation and Transformation of Chlorinated Monoaromatic Compounds." *Journal of Basic Microbiology,* vol. 30, 1990, p. 115-141.

Hall, Eric R. *et al.*, "Organochlorine Discharges in Wastewaters from Kraft Mill Bleach Plants." *Conférence sur l'environnement de l'Association canadienne des pâtes et papiers.* Vancouver, 1988, p. 53-62.

Kierkegaard, A. and L. Renberg. "Chemical Characterization of Organochlorine Compounds, Originating from Pulp Mill Effluents in Fish". *Water Science and Technology,* vol. 20, 1988, p. 165-170.

Kringstad, K.P. and K. Lindstrom. "Spent Liquors from Pulp Bleaching". *Environmental Science and Technology,* vol. 18, 1984, p. 236A-247A.

McConnell, E.E. *et al.* "The Comparative Toxicity of Chlorinated Dibenzo-p-dioxin Isomers to Mice and Guinea Pigs". *Toxicology and Applied Pharmacology,* vol. 37, 1976, p. 146-153.

McKague, A.B. *et al.* "Chloroacetones in Pulp Mill Chlorination Stage Effluents". *Environmental Toxicology and Chemistry,* vol. 9, 1990, p. 1301-1303.

McKague, A.B. *et al.* "Chloroacetones: Mutagenic Constituents of Bleached Kraft Chlorination Effluent". *Mutation Research,* vol. 91, 1981, p. 301-306.

Meier, J.R. *et al.* "Studies on the Potent Bacterial Mutagen, 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone: Aqueous Stability, XAD Recovery and Analytical Determination in Drinking Water and in Chlorinated Humic Acid Solutions". *Mutation Research,* vol. 189, 1987, p. 363-373.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Mikesell, M.D. and S.A. Boyd. "Complete Reductive Dechlorination and Mineralization of Pentachlorophenol by Anaerobic Microorganisms". *Applied and Environmental Microbiology,* vol. 52, 1986, p. 861-865.

Miller R.E. and F.P. Guengerich. "Metabolism of Trichloroethylene in Isolated Hepatocytes, Microsomes, and Reconstituted Enzyme Systems Containing Cytochrome P450". *Cancer Research,* vol. 43, 1983, p. 1145-1152.

Munro, F.C. "Environmentally Influenced Evolution of E.B. Eddy Espanola's Bleaching Sequences". *Bleach Plant Operations.* Atlanta, Tappi Press, 1990, p. 13-24.

Nazar M.A. and W.H. Rapson. "pH Stability of Some Mutagens Produced by Aqueous Chlorination of Organic Compounds". *Environmental Mutagenesis,* vol. 4, 1982, p. 435-444.

Neilson, A.H. *et al.* "The Environmental Fate of Chlorophenolic Constituents of Bleachery Effluents". *Tappi Journal,* vol. 73, 1990, p. 239-247.

Nestmann, E.R. *et al.* "Mutagenicity of Resin Acids Identified in Pulp and Paper Mill Effluents Using the Salmonella/Mammalian Microsome Assay". *Environmental Mutagenesis,* vol. 1, 1979, p. 361-369.

Paasivirta, J. *et al.* "Transportation and Enrichment of Chlorinated Phenolic Compounds in Different Aquatic Food Chains". *Chemosphere,* vol. 9, 1980, p. 441-456.

Paasivirta, J. *et al.* "Polychlorinated Phenols, Guaiacols, and Catechols in Environment". *Chemosphere,* vol. 14, 1985, p. 469-491.

Schroeder, H.G. "Acute and Delayed Chloroform Poisoning: A Case Study". *British Journal of Anaesthesia,* vol. 37, 1965, p. 972-975.

Sierra-Alvarez, R. and G. Lettinga. "The Methanogenic Toxicity of Wood Resin Constituents". *Biological Wastes,* vol. 33, 1990, p. 211-226.

Sinclair, William F. *La lutte contre la pollution découlant de la fabrication de pâtes et papiers au Canada: perspective fédérale.* Environnement Canada, Ottawa, 1990, 360 p.

Springer, A.M. *Industrial Environmental Control: Pulp and Paper Industry.* New York, John Wiley and Sons, 1986, p. 3.

Stillman, R. "Dioxin". *Hazardous Materials Management,* vol. 2, 1990, p. 38-42.

Swanson, S.E. *et al.* "Emissions of PCDDs and PCDFs from the Pulp Industry". *Chemosphere,* vol. 17, 1988, p. 681-691.

RECYCLED/RECYCLÉ

LIBRARY OF PARLIAMENT
BIBLIOTHÈQUE DU PARLEMENT

Tana, J.J. "Sublethal Effects of Chlorinated Phenols and Resin Acids on Rainbow Trout *(Salmo gairdneri)*". *Water Science Technology,* vol. 20, 1988, p. 77-85.

Welander, T. "An Anaerobic Process for Treatment of CTMP Effluent". *Water Science Technology,* vol. 20, 1988, p. 143-147.

RECYCLED/RECYCLÉ